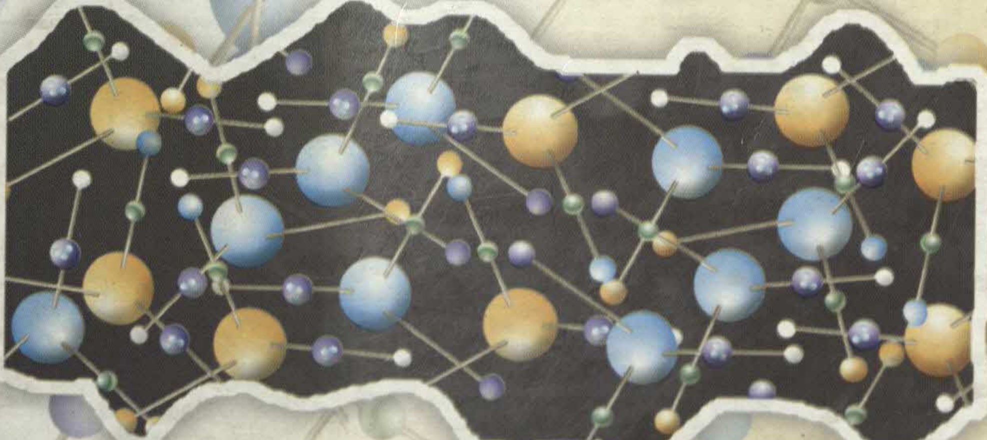
উচ্চমাধ্যমিক

রসায়ন



মাইতি • চৌধুরী • কুণ্ডু

ভারতীয় সংবিধান

প্রস্তাবনা

"আমরা, ভারতের জনগণ, ভারতকে সার্বভৌম, সমাজতান্ত্রিক, ধর্মনিরপেক্ষ, গণতান্ত্রিক, সাধারণতন্ত্র রূপে গড়ে তুলতে এবং তার সকল নাগরিকই যাতে সামাজিক, অর্থনৈতিক ও রাজনৈতিক ন্যায়বিচার, চিন্তা, মতপ্রকাশ, বিশ্বাস, ধর্ম এবং উপাসনার স্বাধীনতা, সামাজিক প্রতিষ্ঠা অর্জন ও সুযোগের সমতা প্রতিষ্ঠা এবং তাদের সকলের মধ্যে ব্যক্তির মর্যাদা এবং জাতীয় ঐক্য ও সংহতি সুনিশ্চিতকরণের মাধ্যমে তাদের মধ্যে যাতে ভ্রাতৃত্বের ভাব গড়ে ওঠে তার জন্য সত্যনিষ্ঠার সঙ্গে শপথ গ্রহণ করে, আমাদের গণপরিষদে আজ, ১৯৪৯ সালের ২৬শে নভেম্বর, এতদ্দ্বারা এই সংবিধান গ্রহণ, বিধিবদ্ধ এবং নিজেদের অর্পণ করছি।"

● ভারতীয় নাগরিকের মৌলিক অধিকার ●

(ভারতীয় সংবিধান, ধারা ১৪-৩০, ৩২ ও ২২৬)

১। সাম্যের অধিকার

- আইনের দৃষ্টিতে সবাই সমান এবং আইন সকলকে সমানভাবে রক্ষা করবে।
- জাতি, ধর্ম, বর্ণ, নারী-পুরুষ, জন্মস্থান প্রভৃতি কারণে রাষ্ট্র কোনো নাগরিকের সঙ্গে বৈষম্যমূলক আচরণ করবে না।
- সরকারি চাকরির ক্ষেত্রে যোগ্যতা অনুসারে সকলের সমান অধিকার।
- অস্পৃশ্যতা নিষিদ্ধ এবং আইন অনুসারে দণ্ডনীয় অপরাধ।

২। স্বাধীনতার অধিকার

- বাক্-স্বাধীনতা ও মতামত প্রকাশের অধিকার।
- শান্তিপূর্ণ ও নিরস্ত্রভাবে সমবেত হওয়ার অধিকার।
- সঙ্ঘ ও সমিতি গঠনের অধিকার।
- ভারতের সর্বত্র স্বাধীনভাবে চলাফেরা করার অধিকার।
- ভারতের যে কোনো স্থানে স্বাধীনভাবে বসবাস করার অধিকার।
- যে কোনো জীবিকা, পেশার বা ব্যবসা-বাণিজ্য করার অধিকার।
- জীবন ও ব্যক্তিগত স্বাধীনতার অধিকার।

৩। শোষণের বিরুদ্ধে অধিকার

- কোনো ব্যক্তিকে ক্রয়, বিক্রয় করা বা বেগার খাটানো যাবে না।
- চোদ্দো বছরের কমবয়স্ক শিশুদের খনি, কারখানা বা অন্য কোনো বিপদজনক কাজে নিযুক্ত করা যাবে না।

৪। ধর্মীয় স্বাধীনতার অধিকার

- সকল শ্রেণির নাগরিক নিজস্ব ভাষা, লিপি ও সংস্কৃতির বিকাশ ও সংরক্ষণ করতে পারবে।
- রাষ্ট্র পরিচালিত বা সরকারি সাহায্যপ্রাপ্ত কোনো শিক্ষা প্রতিষ্ঠানে শিক্ষালাভের ক্ষেত্রে কোনো ব্যক্তিকে ধর্ম, জাতি বা ভাষার অজুহাতে বঞ্চিত করা যাবে না।
- ধর্ম অথবা ভাষাভিত্তিক সংখ্যালঘু সম্প্রদায়গুলি নিজেদের পছন্দমতো শিক্ষাপ্রতিষ্ঠান স্থাপন ও পরিচালনা করতে পারবে।

৫। সংস্কৃতি ও শিক্ষা-বিষয়ক অধিকার

- মৌলিক অধিকারগুলি বলবৎ ও কার্যকর করার জন্য নাগরিকরা সুপ্রিম কোর্ট ও হাইকোর্টের কাছে আবেদন করতে পারবে - প্রয়োজনে বিশেষ লেখ (Writ) জারি করতে পারবে ঃ হেবিয়াস কর্পাস (Habeas Corpus), ম্যান্ডামাস (Mandamus), সার্কশিয়োরী (Certiorari), প্রহিবিশন (Prohibition) ও কুয়ো ওয়ারান্টো (Quo-Warranto).

● মৌলিক কর্তব্য ●

(ভারতীয় সংবিধান, ধারা ৫১এ)

১। সংবিধানের প্রতি আনুগত্য, সাংবিধানিক আদর্শ ও প্রতিষ্ঠান, জাতীয় পতাকা ও জাতীয় সংগীত সম্পর্কে শ্রদ্ধাবোধ।
২। মহৎ যে সব আদর্শ স্বাধীনতা সংগ্রামে আমাদের উদ্‌বুদ্ধ করেছে তাদের লালন ও অনুসরণ।
৩। ভারতের সার্বভৌমত্ব, ঐক্য ও সংহতি রক্ষা।
৪। আহ্বান এলে দেশরক্ষা ও জাতির সেবায় আত্মনিয়োগ করা।
৫। ভাষা-ধর্ম-অঞ্চল-শ্রেণি নির্বিশেষে ভারতের জনগণের মধ্যে পারস্পরিক ঐক্যচেতনা ও ভ্রাতৃত্ববোধ উদ্বোধন।
৬। দেশের মিশ্র সংস্কৃতির মূল্যবান উত্তরাধিকারের মাহাত্ম্য উপলব্ধি ও সংরক্ষণ।
৭। অরণ্য, হ্রদ, নদনদী, বন্যজীবনসহ প্রাকৃতিক পরিবেশ রক্ষণ ও উন্নয়ন এবং প্রাণীজগতের প্রতি সহানুভূতি পোষণ।
৮। বিজ্ঞানমনস্কতা, মানবতাবাদ, অনুসন্ধান ও সংস্কারের বিকাশ।
৯। সরকারি সম্পত্তি রক্ষা করা ও হিংসা পরিহার করা।
১০। জাতি যাতে নিয়ত তার কর্মোদ্যম ও সাফল্যের উচ্চতর স্তরে পৌঁছাতে পারে, জীবনের সর্বক্ষেত্রে ব্যক্তিগত ও সমবেত প্রয়াসে উৎকর্ষের সেই লক্ষ্যে পৌঁছানোর প্রচেষ্টা।
১১। পিতা-মাতা / অভিভাবকের দায়িত্ব ৬ - ১৪ বছর বয়স্ক শিশুদের শিক্ষার সুযোগের ব্যবস্থা করা।

CONSTITUTION OF INDIA

PREAMBLE

WE, THE PEOPLE OF INDIA, having solemnly resolved to constitute India into a **SOVEREIGN SOCIALIST SECULAR DEMOCRATIC REPUBLIC** AND TO SECURE TO ALL CITIZENS :

JUSTICE, social, economic and political;

LIBERTY of thought, expression, belief, faith and worship;

EQUALITY of status and of opportunity; and to promote among them all

FRATERNITY assuring the dignity of the individual and the unity and integrity of the Nation;

IN OUR CONSTITUENT ASSEMBLY THIS TWENTY-SIXTH day of November, 1949, do **HEREBY ADOPT, ENACT AND GIVE TO OURSELVES THIS CONSTITUTION**

FUNDAMENTAL RIGHTS UNDER THE CONSTITUTION OF INDIA

RIGHT TO EQUALITY

- The state shall not deny to any person equality before the law or equal protection of the law.
- The state shall not discriminate against any citizen on the ground only of religion, race, caste, sex, place of birth.
- There shall be equality of opportunity for all citizens in matters relating to employment or appointment to any office under the state.
- Untouchability in practice in any form is forbidden and punishable.

RIGHT TO FREEDOM

- To freedom of speech and expression.
- To assemble peaceably and without arms.
- To form associations or unions.
- To move freely throughout the territory of India.
- To reside and settle in any part of the territory of India.
- To practice and profess, or to carry on any occupation, trade and business.
- To provide for Right to Life and Personal Liberty, except according to procedure established by law.
- State shall provide free and compulsory education to all children of the age of 6-14 years in a manner to be determined by the state.

RIGHT AGAINST EXPLOITATION

- Prohibition of traffic in human beings and forced labour.
- No child below the age of fourteen years shall be employed to work in any factory or mine or engage in any other hazardous employment.

RIGHT TO FREEDOM OF RELIGION

- Every person in India shall have the freedom of conscience and shall have the right to profess, practice and propagate religion, subject to public order.
- No person shall the compelled to pay any taxes, of any particular religion.
- No religious instruction shall be provided in any educational institution wholly maintained out of state fund.

CULTURAL AND EDUCATIONAL RIGHT

- Any section of the citizen residing in the territory of India or any part thereof having a distinct language, script or culture of its own shall have the right to conserve the same.
- No citizen shall be denied admission into any educational institution maintained by the state or receiving aid out of state fund on the ground only of religion, race, caste, language or any of them.
- All minorities, whether based on religion or language, shall have the right to establish and administer educational institution of their choice.

RIGHT TO CONSTITUTIONAL REMEDIES

- The Constitution guarantees the right to move the Supreme Court for the enforcement of the fundamental rights through certain constitutional writs, such as : Habeas Corpus, Mandamus, Certiorari, Prohibition and Quo-Warranto.

□ FUNDAMENTAL DUTIES OF INDIAN CITIZEN □

ARTICLE 51A

Fundamental Duties- It shall be the duty of every citizen of India –

(a) to abide by the Constitution and respect its ideals and instructions, the National Flag and the National Anthem;

(b) to cherish and follow the noble ideas which inspired our national struggle for freedom;

(c) to uphold and protect the sovereignty, unity and integrity of India;

(d) to defend the country and render national service when called upon to do so;

(e) to promote harmony and the spirit of common brotherhood amongst all the people of India transcending religious, linguistic and regional or sectional diversities; to renounce practices derogatory to the dignity of women;

(f) to value and preserve the rich heritage of our composite culture;

(g) to protect and improve the natural environment including forests, lakes, rivers, wild life and to have compassion for living creatures;

(h) to develop the scientific temper, humanism and the spirit of inquiry and reform.

(i) to safeguard public property and to abjure violence;

(j) to strive towards excellence in all spheres of individual and collective activity so that the nation constantly rises to higher levels of endeavour and achievement.

(k) Who is a parent or guardian to provide opportunities for education to his child on, as the case may be, ward between the age of six and fourteen years.

Written according to the New Syllabus of the West Bengal Council of Higher Secondary Education on Chemistry for Classes XI & XII vide Circular No. D.S(A). SD/2025/04 Dt. 24.08.04 and Approved vide T.B. No. HSC/CHEM—01/XI/2005 dt. 07.03.2005 for 1st Paper and T.B. No. HSC/CHEM —04/XII/2005 dt. 04.10.2005 for 2nd Paper.

উচ্চমাধ্যমিক
রসায়ন

[প্রথম ও দ্বিতীয় পত্র একত্রে]

● একাদশ ও দ্বাদশ শ্রেণির জন্য ●

শ্রীসুখেন্দু মাইতি

প্রাক্তন সহকারী প্রধান শিক্ষক ও রসায়ন বিভাগের প্রধান, স্কটিশ চার্চ কলেজিয়েট স্কুল, কলকাতা

ডঃ পিনাকী চৌধুরী

লেকচারার, রসায়ন বিভাগ, রামকৃষ্ণ মিশন বিদ্যামন্দির, হাওড়া

ডঃ দীনবন্ধু কুণ্ডু

রিডার, রসায়ন বিভাগ, স্কটিশ চার্চ কলেজ, কলকাতা

NEW SYLLABUS

অ্যালাইড পাবলিশিং সিন্ডিকেট

৬১, মহাত্মা গান্ধি রোড, কলকাতা-৭০০ ০০৯

প্রকাশক ঃ
শ্রী দেবাশীষ রায়চৌধুরী
অ্যালাইড পাবলিশিং সিন্ডিকেট
৬১, মহাত্মা গান্ধি রোড,
কলকাতা-৭০০ ০০৯

প্রথম ও দ্বিতীয় পত্র একত্রিত সংস্করণ ঃ ফেব্রুয়ারি, ২০০৬
পুনর্মুদ্রণ ঃ ফেব্রুয়ারি, ২০০৭

মূল্য ঃ দুই শত আশি টাকা মাত্র।

টাইপ সেটিং
অদিতি গ্রাফিক্স
৪৬/সি/৪০ বিপ্লবী বারীণ ঘোষ সরণি
কলকাতা-৭০০ ০৫৪

মুদ্রাকর ঃ
নটরাজ অফ্‌সেট
১৭৯ এ/১ বি, মানিকতলা মেন রোড
কলকাতা-৭০০ ০৫৪



• H. S. SYLLABUS •

CHEMISTRY

CLASS - XI

Unit - 1 : Atoms, Molecules & Chemical Arithmetic **(8M/8P)**

Dalton's atomic theory (Critical study). Avogadro's Hypothesis. Application of Avogadro's Hypothesis and deduction of $M=2D$ and molar volumes of ideal gases at STP. Avogadro Number.

Atomic mass, molecular mass. Equivalent weight (no experimental determination required), Valency. $A = EV$. Gram atomic weight, Gram molecular weight and Gram equivalent weight. Gay Lussac's Law of gaseous volumes. Mole concept.

Weight-weight, weight-volume calculations. Eudiometry.

Percentage composition, empirical formula and molecular formula. Simple numerical problems.

Unit - 2 : Atomic Structure **(6M/6P)**

Concept of Nuclear Atom : electron, proton and neutron (charge and mass of), atomic number. Extra nuclear structure : Rutherford's model and its limitations.

Line spectra of hydrogen atom.

Quantization of energy (Planck's equation $E = hn$), Bohr's model of hydrogen atom and its limitations, Sommerfield's modifications (elementary idea). The four quantum numbers *n, l, m* and *s,* the *s, p, d* and *f* electrons, ground state electronic configurations of many electron atoms and mono atomic ions.

The Aufbau Principle, Pauli's Exclusion Principle and Hund's Rule.

The concept of atomic orbitals, shapes of *s* and *p* orbitals (pictorial approach).

Unit - 3 : Colloidal solutions ; Electrolytic solutions & Chemical Equilibrium **(10M/10P)**

Colloidal Solutions : Differences from true solutions, hydrophobic and hydrophilic colloids (meaning, examples and uses), coagulation and peptization of colloids, dialysis and its applications, Brownian motion, Tyndall effect and its applications.

Electrolytic Solutions : Specific conductance, equivalent conductance and ionic conductance (definitions only), Kohlrausch's law (statement only). Faraday's laws of electrolysis and their applications, the Faraday (F), unit of charge—the electron ($e = F/N$). Numerical problems.

Chemical Equilibria : The Law of mass action, dynamic nature of chemical equilibria, equilibrium constants (K), Le Chatelier's Principle. Equilibrium constants of gaseous reactions (K_p and K_c) and relation between them (examples).

Unit - 4 : Gas Laws **(6M/6P)**

Gaseous state : Measurable properties of gases, Boyle's Law & Charles' Law, absolute scale of temperature, kinetic theory of gases (postulates only), ideal gas equation *f* $PV = nRT$. $PV = (w/M)RT$. Dalton's Law of partial pressure. Graham's Law of gaseous diffusion. Deviations from ideal behavior. Liquefaction of gases, real gases, Van der Waal's equation (Numerical problems).

Unit - 5 : The Periodic Table & The Chemical Families **(8M/8P)**

Modern periodic law (based on atomic number).

Modern periodic table based on electronic configurations, groups and periods. Types of elements representative (*s*-block and *p*-block) elements, transitional (*d*-block) elements and inner transitional (*f*-block) elements (lanthanides and actinides) and their general characteristics. Periodic trends in physical and chemical properties *f* atomic radii, valency, ease of ionization (elementary idea about ionization energy and electron affinity), electronegative metallic nature, acidic and basic natures of oxides and hydrides of the representative elements (up to Z = 20). Position of hydrogen and the noble gases in the periodic table, diagonal relationships.

Unit - 6 : Chemical Bonding & Molecular Structure **(10M/10P)**

Valency electrons, the octet rule, Electrovalent and covalent bonds with examples. Properties of electrovalent and covalent compounds. Limitation of octet rule (examples).

Directionality of covalent bonds, shapes of poly atomic molecules (examples), Concept of hybridization of atomic orbitals (qualitative pictorial approach) sp^3, sp^2 and sp hybridizations with typical examples.

Tetrahedral space model of carbon atom, single-bond, double-bond and triple-bond involving carbon atom with examples, d and p bonds.

Valence Shell Electron Pair Repulsion (VSEPR) concept (elementary idea)—shapes of H_2O, H_2S, CH_4, NH_3, CO_2, NO_2 and SO_2 molecules. Concept of resonance (elementary idea), resonance structures (examples). Elementary

idea about electronegativity, bond polarity and dipole moment. Inter & intra molecular Hydrogen bonding and its effects on physical properties (MP, BP and solubility).

Double salts and complex salts and coordination compounds (examples only), coordination number (examples with coordination number 4 and 6 only).

Unit–7 : Chemistry of Non-Metallic Elements & Their Compounds **(10M/10P)**

Carbon : Occurrence, isotopes, CO & CO_2 : production, properties and uses.

Nitrogen & Phosphorus : Occurrence, Isotopes, isolation from natural sources and purification, reactivity of the free elements. Preparation, properties, reactions of NH_3 and PH_3, N_2O and NO and NO_2; HNO_3; P_4O_6 and P_4O_{10}, H_3PO_3 and H_3PO_4.

Oxygen and Sulphur : Occurrence, isotopes, allotropic forms, isolation from natural sources and purification, properties and reactions of the free elements. Water, unusual properties of water, heavy water (production and uses). Hydrogen Peroxide and Ozone (production, purification, properties, reactions and uses). H_2S, SO_2 and H_2SO_4 (preparation, properties, reactions and uses).

Unit–8 : Chemistry of Organic Compounds (1) **(8M/8P)**

Aliphatic Compounds : Hydrocarbons, Compounds : Unique nature of the carbon atom–catenation. Classification of organic compounds, homologous series of compounds up to C_4 (open chain) and their IUPAC and trivial names, Structural isomerism.

Detection of special elements (N, Cl, Br, I and S) in organic compounds by chemical tests. Elementary principles of estimation of C, H and N in organic compounds. Determination of molecular masses of organic compounds (principles of silver salt method, chloroplatinate method, Victor Mayer's method and elementary idea about mass spectrometry). Problems on empirical formulae and molecular formulae.

Hydrocarbons : Petroleum as the industrial source of hydrocarbons. Alkanes: Methane and Ethane. Alkene : Ethylene, Propene, Alkyne : Acetylene [preparation, large-scale production, properties and reactions (including the application of Markownikoff's rule where applicable) and technical uses].

Unit–9 : Chemistry in Industry **(10M/10P)**

Large scale production (including physicochemical principles where applicable omitting technical details and uses of individual items).

(i) **Heavy chemicals :** Sulphuric acid (contact process), Ammonia (Haber's process), Nitric acid (Ostwald's process), sodium bicarbonate and sodium carbonate (Solvey process).
(ii) **Polymers, Polythene, Nylon 6, 6, rubber** from natural source including vulcanisation.
(iii) **Electrochemicals :** Sodium hydroxide, hydrogen, chlorine, bleaching powder as by product.
(iv) **Fuel Gases :** Coal gas, producer gas, water gas, LPG.
(v) **Fertilizer :** Urea, ammonium sulphate, super phosphate of lime.
(vi) **Ceramics :** Portland cement and glass.

Unit–10 : Environmental Chemistry **(4M/4P)**

Environmental Chemistry :

Chemical nature of air, water & soil and their role in environment. Common modes of pollution of air, water and soil. Importance of Ozone layer. Important chemical interactions, reactions. Green House Effect, Smog. Pollution of water by domestic and industrial effluents. Pollution & degradation of soil—Pesticides & fertilizers.



CLASS - XII

Unit–1 : Radioactivity (5M/5P)

(i) Natural Radioactivity : Alfa, beta and gama-rays and their properties. Rate of radioactive decay, decay constant and half-life period of radio elements. Numerical problems.

(ii) Stability of the atomic nucleus : Effect of neutron proton (*n/p*) ratio on the modes of decay, group displacement law, radioisotopes and their uses ($^{14}_{6}C$, $^{32}_{15}P$, $^{60}_{27}Co$ and $^{131}_{53}I$ as examples), isobars and isotones (definition and examples only), elementary idea about nuclear fission and fusion reactions.

Unit–2 : Chemical Energetics & Chemical Dynamics (14M/14P)

(i) Chemical Energetics : Energy changes in physical and chemical transformations. Internal energy change (ΔE) and Enthalpy change (ΔH) in a chemical reaction. Hess's Law and its applications. Numerical problems.

The Law of conservation of energy. The first law of thermodynamics. Spontaneity of a chemical reaction. The Second law of thermodynamics (no numerical problems). Elementary idea about Entropy change (ΔS) and Free Energy change (ΔG), significance of the relation, $\Delta G = \Delta H - T\,\Delta S$ (without derivation), examples with gaseous reactions. Numerical problems.

(ii) Chemical Dynamics : Dependence of reaction rates with concentration, pressure, temperature, catalyst, size of particles etc., concept of energy barrier and activation energy (qualitative non-mathematical approach).

Order and molecularity of reactions (determination excluded). First order reactions, specific rate constant, half-life period. Numerical problems, examples of first order and second order reactions.

Unit–3 : Chemistry of Solutions (5M/5P)

Non-electolytes

Non-Electrolytic Solutions : Types of solution, vapour pressure of solutions of solids in liquids and Rault's Law of relative lowering of vapour pressure, colligative properties, osmotic pressure, depression of freezing points and elevation of boiling points of solutions & their relationships with molecular masses of solutes and solvents (without derivations). Numerical problems.

Unit–4 : Acid-Base, Solubility & Redox Equilibria (8M/8P)

(i) Acid-Base & Solubility Equilibria : Ionization of weak electrolytes, Ostwald's dilution law. Ionization constants of weak acids and bases, ionic product of water, the pH—Scale, pH of aqueous solutions of acids and bases, elementary idea about buffer solutions and buffer action (examples only).

Stoichiometry of acid-base reactions, acid-base titrations, acid-base indicators (structures non evaluative).

Solubility and Solubility Products.

Common ion effect (examples) (No numerical problems).

(ii) Redox Equilibria : Oxidation-Reduction reactions as electron transfer processes, oxidation numbers, balancing chemical equations of redox reactions by oxidation number and ion-electron methods.

Standard electrode potentials (E^o).

Electrode potential series, feasibility of a redox reaction.

Significance of Gibb's equation : $\Delta G^o = -nF\Delta E^o$ (without derivation). (No numerical problems).

Stoichiometry of redox reactions, redox titrations (examples). (Numerical problems.)

Unit–5 : Chemistry of non metals : Halogen (5M/5P)

Comparative study of the halogen family : Occurrence, physical states and chemical reactivities of the free elements, peculiarities of fluorine and iodine; hydracid of halogens (preparation, properties, reactions and uses), inter-halogen compounds (examples).

Unit–6 : Chemistry of metals (10 M/10P)

(i) General principles of metallurgy : Occurrence, concentration of ores, production and purification of metals. Mineral wealth of India.

(ii) Typical Members : Occurrence, extraction, purification (where applicable), properties and reactions with air, water, acids, non-metals in respect of following metals : Na, Ca, Al, Fe, Cu and Zn.

Manufacture of steels and alloy steel (Bessemer, Open Hearth and L. D. process).

Principles of chemistry involved in electroplating anodizing, galvanizing.

Unit–7 : Chemistry of Organic Compounds (1) **(7M/8P)**

(i) Halohydrocarbons : General methods of preparation, general properties of haloalkanes, haloform reaction, chloroform & iodoform (preparation, properties and uses).

(ii) Organometallic Compounds : Preparation of Grignard's reagents and their synthetic applications for the preparation of alcohols, aldehydes, ketones, acids and amines.

(iii) Aliphatic Compounds with Functional Groups : General methods of preparation, large scale production, properties, reactions, uses of individual compounds included in the syllabus and problems based on stoichiometry, structure, physical and chemical properties, reactions of functional groups.

(iv) Alcohols : Methanol and Ethanol (from fermentation).

(v) Ether : Diethyl ether.

Unit–8 : Chemistry of Organic Compounds (2) **(10M/8P)**

(i) Aliphatic Compounds with Functional Groups : General methods of preparation, large scale production, properties, reactions, uses of individual compounds included in the syllabus and problems based on stoichiometry, structure, physical and chemical properties, reactions of functional groups.

(ii) Aldehydes & Ketones : Formaldehyde, acetaldehyde and acetone.

(iii) Carboxilic acids & their derivatives : Formic acid, acetic acid and oxalic acid, acetyl chloride, acetic anhydride and acetamide.

(iv) Ester : Ethyl acetate.

Nitro compounds, Amines, Cyanides and Isocyanides.

Unit–9 : Chemistry of Organic Compounds (3) **(10M/8P)**

Benzene and its derivatives : Coal tar distillation and isolation of benzene. Substitution reactions (Chlorination, nitration, sulfonation and Friedel-Craft reaction) on benzene derivatives, directive influence of substitutions (examples).

Preparation, properties, reactions and uses of chlorobenzene, nitrobenzene, aniline, phenol, benzaldehyde, benzoic acid, salicylic acid, anthranilic acid.

Preparation, reaction and synthetic applications of benzenediazonium chloride. Toluene and its *o*, *m*, *p* substituted derivaties and their side chain oxidations.

Problems based on stoichiometry, physical and chemical properties, structure and reactions of functional groups.

Unit–10 : Application Oriented Chemistry and introduction to Bio-molecules **(6M/7P)**

Application Oriented Chemistry :

(i) Main ingredients, their chemical natures (structures not required) and their side effects if any of common antiseptics, analgesics, antacids, pain killers, vitamin C.

(ii) Technical/Domestic/Medicinal uses of Chemicals : Baking powder, plaster of paris, calcium lactate, common alum, boric acid, borax, copper sulphate, epsom salt, oil of winter green, carbolic acid.

Introduction to Bio-molecules :

(i) Carbohydrates : Pentoses & Hexoses. Distinctive chemical reactions of glucose.

(ii) Amino Acids : Glycine, alanine, aspartic acid, cysteine (structure).

Zwitterrion structures of amino acids peptides bond.

ADP & ATP : structures and role in bioenergetics. Nucleic acids – DNA & RNA skeleton structures.

● সূচিপত্র ●

প্রথম পত্র

* তারকাচিহ্নিত অংশে কেবল একাদশ শ্রেণির পাঠ্য, বাকি অংশে দ্বাদশ শ্রেণির পাঠ্য।

* তারকাচিহ্নিত অংশ কেবল একাদশ শ্রেণির পাঠ্য, বাকি অংশ দ্বাদশ শ্রেণির পাঠ্য।

দ্বিতীয় পত্র

* তারকাচিহ্নিত অংশ কেবল একাদশ শ্রেণির পাঠ্য, বাকি অংশ দ্বাদশ শ্রেণির পাঠ্য।

* তারকাচিহ্নিত অংশে কেবল একাদশ শ্রেণির পাঠ্য, বাকি অংশে দ্বাদশ শ্রেণির পাঠ্য।

উচ্চমাধ্যমিক

রসায়ন

[প্রথম পত্র]



1

অণু, পরমাণু এবং রাসায়নিক গণনা
[Atoms, Molecules and Chemical Arithmetics]

1.1. ডালটনের পরমাণুবাদ [Dalton's Atomic Theory]

প্রাচীন গ্রিক অথবা ভারতীয় দার্শনিকদের মতবাদে পদার্থের ক্ষুদ্রতম কণারূপে পরমাণুর অস্তিত্ব কল্পনা করা হয়েছে বটে, কিন্তু তার কোনো বৈজ্ঞানিক ব্যাখ্যা অথবা পদার্থের রাসায়নিক ধর্মে তার ভূমিকার কথা বলা হয়নি। 1803 খ্রীষ্টাব্দে পরীক্ষা-নিরীক্ষার ভিত্তিতে সুস্পষ্টভাবে প্রাচীন মনীষীদের ওই কল্পনার বৈজ্ঞানিক ব্যাখ্যা দেন বিজ্ঞানী স্যার জন ডালটন।

মৌলিক পদার্থগুলি পরমাণু দ্বারা গঠিত। মৌলিক পদার্থের এই পরমাণুগুলির পরিচয়, ধর্ম এবং কীভাবে বিভিন্ন মৌলিক পদার্থের পরমাণুগুলি পরস্পর যুক্ত হয়ে যৌগিক পদার্থ গড়ে তোলে, সে বিষয়ে বিজ্ঞানী ডালটন একটি তত্ত্ব (theory) প্রকাশ করেন। ডালটনের এই তত্ত্বটি বিজ্ঞানজগতে পরমাণুবাদ নামে বিখ্যাত।



চিত্র 1.1 ঃ স্যার জন ডালটন

● **ডালটনের পরমাণুবাদের স্বীকার্য বিষয় ঃ**

(1) প্রত্যেক মৌল অসংখ্য অতি ক্ষুদ্র কণা দ্বারা গঠিত। পদার্থের এই ক্ষুদ্রতম কণার নাম পরমাণু।

পরমাণুগুলি এত ছোটো যে এর আয়তন কল্পনাও করা যায় না। একটি H পরমাণুর ওজন $1{\cdot}67 \times 10^{-24}$ গ্রাম এবং ব্যাস $= 12 \times 10^{-9}$ সেমি।

(2) পরমাণুগুলিকে রাসায়নিক প্রক্রিয়া দ্বারা ভাঙা যায় না, সৃষ্টি করা যায় না বা ধ্বংস করা যায় না। কোনো প্রক্রিয়া দ্বারা পরমাণুগুলির আকার, ওজন বা ধর্মের পরিবর্তন করা যায় না ; —পরমাণু অবিভাজ্য।

(3) একই মৌলিক পদার্থের পরমাণুগুলির ভর এবং ধর্ম অভিন্ন হয়।

এই তত্ত্ব অনুযায়ী হাইড্রোজেন গ্যাসের সব পরমাণুর ভর ও ধর্ম সর্বতোভাবে একরকম হবে। তেমনি কপারের প্রত্যেকটি পরমাণুর ধর্ম ও ভর একরকম হবে।

(4) বিভিন্ন মৌলিক পদার্থের পরমাণুগুলির ভর এবং ধর্ম ভিন্ন হয়।

ভিন্ন মৌল যেমন হাইড্রোজেন পরমাণুগুলির ভর ও ধর্ম যা হবে অক্সিজেনের পরমাণুগুলির ভর ও ধর্ম তা হবে না, ভিন্ন হবে।

(5) বিভিন্ন মৌলিক পদার্থের পরমাণুগুলি পূর্ণ সংখ্যার সরল অনুপাতে পরস্পর যুক্ত হয়ে যৌগিক পরমাণু (বর্তমানে অণু) উৎপন্ন করে। পরমাণু অবিভাজ্য বলে কখনও ভগ্নাংশে যুক্ত হয় না। যেমন, জল (H_2O), — জলে হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন পরমাণুর সংখ্যার অনুপাত 2 ঃ 1—এটি পূর্ণ সংখ্যার সরল অনুপাত।

● **ডালটনের পরমাণুবাদের প্রয়োজনীয়তা ঃ**

(i) সমস্ত মৌলিক পদার্থ কীভাবে আদিকণা দ্বারা গঠিত হয়েছে পরমাণুবাদ তার ব্যাখ্যা করে।

(ii) বিভিন্ন মৌলিক পদার্থের পরমাণু দ্বারা বিভিন্ন যৌগিক পদার্থ কীভাবে গঠিত হয় পরমাণুবাদ তা নির্দেশ করে।

(iii) পরমাণুবাদের সাহায্যে গ্যাস-আয়তন সূত্র ছাড়া অন্য সব রাসায়নিক সংযোগ-সূত্রগুলি প্রমাণ করা সম্ভব হয়েছে।

(iv) একই মৌলের পরমাণুগুলি ওজনে ও ধর্মে অভিন্ন—পরমাণুবাদের এই সিদ্ধান্তের উপর নির্ভর করে বিভিন্ন যৌগের সংকেত নির্ণয় করা এবং রাসায়নিক বিক্রিয়াগুলিকে সমীকরণের সাহায্যে সংক্ষেপে প্রকাশ করা সহজ হয়েছে এবং রাসায়নিক গণনার সহজ প্রক্রিয়া তৈরি করা সম্ভব হয়েছে।

(v) বিভিন্ন উৎস থেকে পাওয়া একই যৌগের উপাদান মৌলগুলি ওজনে ও ধর্মে একই রকম হবে কেন, পরমাণুবাদ তা ব্যাখ্যা করে।

(vi) পরমাণুবাদের পরমাণুর কল্পনাকে আশ্রয় করেই পরের যুগে অ্যাভোগাড্রো অণুর কল্পনা করতে সমর্থ হন। পরমাণুবাদের উপর ভিত্তি করেই অ্যাভোগাড্রোর প্রকল্প রচিত হয়।

(vii) বর্তমানে ডালটনের পরমাণুবাদ ও অ্যাভোগাড্রোর প্রকল্পের উপর নির্ভর করে সমস্ত রাসায়নিক বিক্রিয়াগুলির ব্যাখ্যা করা সম্ভব হয়েছে।

(viii) পরমাণুবাদের উপর নির্ভর করে বিভিন্ন মৌলের পরমাণুর আপেক্ষিক ওজন রূপে মৌলিক পদার্থের পারমাণবিক ভর নির্ণয় করার পদ্ধতি আবিষ্কার করা সম্ভব হয়েছে। প্রত্যেক রাসায়নিক বিক্রিয়ায় **পরমাণুই অবিভাজ্য একক কণারূপে অংশ নেয়**—পরমাণুবাদের এই সিদ্ধান্তটি হল রসায়ন বিজ্ঞানের মূল কথা।

● **ডালটনের পরমাণুবাদের অসম্পূর্ণতা ঃ**

(i) মৌলিক পদার্থের অন্তিম কণা হল পরমাণু, আর পরমাণু অবিভাজ্য—ডালটনের এই সিদ্ধান্তটি সঠিক নয়। এখন জানা গেছে যে, পরমাণু নেগেটিভ তড়িৎগ্রস্ত কণা ইলেকট্রন, পজিটিভ তড়িৎগ্রস্ত কণা প্রোটন, নিস্তড়িত কণা নিউট্রন এবং আরও কয়েকটি আদি কণা দ্বারা গঠিত। তবে **সাধারণ অবস্থায় কিংবা রাসায়নিক বিক্রিয়ায় মৌলের পরমাণুগুলি অবিভাজ্য কণার মতোই ব্যবহার করে।**

(ii) ডালটনের মতে পরমাণুগুলির মিলনের ফলে রাসায়নিক বিক্রিয়া ঘটে—এই তথ্যটিও সঠিক নয়। কারণ বর্তমানে প্রমাণিত হয়েছে যে পরমাণুর কেন্দ্র বা নিউক্লিয়াসের অংশ রাসায়নিক বিক্রিয়ায় অবিভাজ্য থাকে বটে কিন্তু পরমাণুর সবচেয়ে বাইরের কক্ষের ইলেকট্রনগুলি রাসায়নিক বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করে অর্থাৎ রাসায়নিক বিক্রিয়ার মূলে আছে ইলেকট্রন, পরমাণু নয়।

(iii) একই মৌলিক পদার্থের পরমাণুগুলি ওজনে ও ধর্মে অভিন্ন বলে ডালটন যে সিদ্ধান্ত করেন--সেটিও সঠিক নয়। আইসোটোপ আবিষ্কারের পর জানা গেছে যে, একই মৌলিক পদার্থের বিভিন্ন ওজন ও বিভিন্ন ভৌত ধর্মবিশিষ্ট পরমাণু থাকতে পারে। যেমন হাইড্রোজেনের তিন রকম পরমাণু (আইসোটোপ) পাওয়া যায়, যাদের ভর যথাক্রমে 1, 2 এবং 3; কার্বনের তিন রকম পরমাণু পাওয়া যায়, যাদের ভর যথাক্রমে 12, 13 ও 14।

কাজেই ডালটনের পরমাণুবাদের সামান্য সংশোধন করে বলা যায় যে, **একই মৌলিক পদার্থের একরকম আইসোটোপগুলির পরমাণু ভর ও ধর্মে একই রকম হয় ; কিন্তু একই মৌলিক পদার্থের বিভিন্ন আইসোটোপগুলির পরমাণু ভরে ও কোনো কোনো ভৌতধর্মে বিভিন্ন হয়।**

(iv) ডালটন পরমাণুর কল্পনা করেন বটে, কিন্তু মৌলিক বা যৌগিক অণুর কল্পনা তিনি করতে পারেন নি। সেইজন্য যৌগের ক্ষুদ্রতম কণাকেও তিনি পরমাণু বলে ধরেন, এর ফলে কিছু বিভ্রান্তির সৃষ্টি হয়েছে।

(v) পরমাণুবাদ গে-লুসাকের গ্যাস-আয়তন-সূত্র ব্যাখ্যা করতে পারে না।

(vi) বিভিন্ন মৌলের পারমাণবিক ভর বিভিন্ন—ডালটনের এই তত্ত্বটি ঠিক নয়। একই পারমাণবিক ভর বিশিষ্ট বিভিন্ন পরমাণু আছে **(আইসোবার)**। যেমন, Ca এবং Ar উভয়েরই পারমাণবিক ভর 40।

(vii) বিভিন্ন মৌলের পরমাণুগুলির ভর, আকার, যোজ্যতা ইত্যাদি বিভিন্ন হয় কেন, পরমাণুবাদ তার কোনো ব্যাখ্যা দেয় না।

(viii) একই অথবা ভিন্ন মৌলের পরমাণুগুলি পরস্পর যুক্ত হয়ে অণু উৎপন্ন করে কেন, পরমাণুবাদ সে বিষয়ে নীরব।

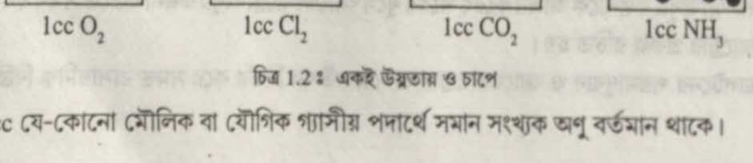
1.2. অ্যাভোগাড্রোর প্রকল্প [Avogadro's Hypothesis]

অ্যাভোগাড্রো পদার্থের ক্ষুদ্রতম কণা রূপে পরমাণু এবং অণুর কল্পনা করেন। তাঁর মতে, **মৌলিক পদার্থের ক্ষুদ্রতম কণা যা রাসায়নিক বিক্রিয়ায় অংশ নেয় এবং যে কণা স্বাধীনভাবে থাকতে পারে বা নাও পারে, তাকে পরমাণু বলে।**

মৌল বা যৌগের ক্ষুদ্রতম কণা যার মধ্যে মৌল বা যৌগের সব গুণ বর্তমান থাকে এবং যা স্বাধীনভাবে থাকতে পারে তাকে অণু বলে। এভাবে তিনি অণুর কল্পনা করে একটি নতুন প্রকল্প প্রকাশ করেন। এটি অ্যাভোগাড্রো প্রকল্প নামে খ্যাত।

অ্যাভোগাড্রো প্রকল্প ঃ 'একই চাপ ও উষ্ণতায় সম-আয়তন সব গ্যাসের মধ্যে সমান সংখ্যক অণু বর্তমান থাকে'।

এই প্রকল্প অনুযায়ী একই চাপ ও উষ্ণতায় 1 cc অক্সিজেন গ্যাসের মধ্যে যদি n-সংখ্যক অণু বর্তমান থাকে, তাহলে 1 cc ক্লোরিন, 1 cc হাইড্রোজেন, 1 cc কার্বন ডাইঅক্সাইড বা 1 cc অ্যামোনিয়ার মধ্যে সেই একই সংখ্যক (n) অণু বর্তমান থাকবে—অর্থাৎ একই



চিত্র 1.2 ঃ একই উষ্ণতায় ও চাপে

চাপ ও উষ্ণতায় 1 cc যে-কোনো মৌলিক বা যৌগিক গ্যাসীয় পদার্থে সমান সংখ্যক অণু বর্তমান থাকে।

একটা কথা মনে রাখা দরকার যে, অ্যাভোগাড্রো প্রকল্প বলে না যে, বিভিন্ন গ্যাসের অণুগুলি সব এক আয়তনের হয়—এই প্রকল্পে বলা হয় যে, **বিভিন্ন গ্যাসের যে যে আয়তনে সমান সংখ্যক অণু থাকে, সেই সেই আয়তন সমান হয়। বিভিন্ন গ্যাসের অণুগুলির আয়তন কিন্তু বিভিন্ন।**

1.3. অ্যাভোগাড্রো-সূত্রের অনুসিদ্ধান্ত এবং প্রয়োগ [Deductions and applications of Avogadro's Hypothesis]

অ্যাভোগাড্রো সূত্র থেকে নীচের অনুসিদ্ধান্তগুলি পাওয়া যায় ঃ

(1) নিষ্ক্রিয় গ্যাসগুলি ছাড়া অন্যান্য মৌলিক গ্যাসগুলি দ্বি-পরমাণুক।

(2) কোনো গ্যাসের আণবিক গুরুত্ব গ্যাসটির বাষ্প-ঘনত্বের দ্বিগুণ।

(3) প্রমাণ চাপ ও উষ্ণতায় এক গ্রাম অণু পরিমাণ সব গ্যাসের (মৌলিক বা যৌগিক) আয়তন 22·4 লিটার হয়।

অ্যাভোগাড্রো প্রকল্প এবং ওর অনুসিদ্ধান্তগুলির সাহায্যে—

(4) কোনো গ্যাসের আয়তন সংযুক্তি থেকে গ্যাসটির আণবিক সংকেত এবং (5) মৌলের পারমাণবিক গুরুত্ব নির্ণয় করা যায়।

(1) নিষ্ক্রিয় গ্যাসগুলি ছাড়া, মৌলিক গ্যাসের অণু, দুটি করে পরমাণু দ্বারা গঠিত, অর্থাৎ দ্বি-পরমাণুক ঃ

বাস্তব পরীক্ষায় দেখা যায়, একই চাপ ও উষ্ণতায় 1 আয়তন হাইড্রোজেনের সঙ্গে 1 আয়তন ক্লোরিনের বিক্রিয়ায় 2 আয়তন হাইড্রোজেন ক্লোরাইড গ্যাস উৎপন্ন হয়।

ধরা যাক্, 1 আয়তন হাইড্রোজেনের মধ্যে n সংখ্যক অণু আছে। তাহলে অ্যাভোগাড্রো প্রকল্প অনুযায়ী 1 আয়তন ক্লোরিনের মধ্যে n সংখ্যক ক্লোরিন অণু এবং 2 আয়তন হাইড্রোজেন ক্লোরাইডের মধ্যে $2n$-সংখ্যক হাইড্রোজেন ক্লোরাইড অণু আছে। আয়তনের পরিবর্তে অণুর সংখ্যা দিয়ে বিক্রিয়াটি লিখলে—

n-সংখ্যক হাইড্রোজেন অণু + n-সংখ্যক ক্লোরিন অণু = $2n$-সংখ্যক HCl অণু।

বা, 1টি হাইড্রোজেন অণু + iটি ক্লোরিন অণু = 2টি HCl অণু।

অর্থাৎ 1টি অণু HCl উৎপন্ন করতে $^1/_2$ অণু হাইড্রোজেন + $^1/_2$ অণু ক্লোরিন দরকার।

হাইড্রোজেন ক্লোরাইড গ্যাসের অণু শুধু হাইড্রোজেন ও ক্লোরিনের পরমাণু দ্বারা গঠিত। পরমাণুবাদ অনুসারে রাসায়নিক বিক্রিয়ায় পরমাণু অবিভাজ্য। কাজেই হাইড্রোজেন ক্লোরাইড গ্যাসের একটি অণুতে কমপক্ষে একটি হাইড্রোজেন পরমাণু ও একটি ক্লোরিন পরমাণু থাকবেই। এই হাইড্রোজেন ও ক্লোরিন পরমাণু এসেছে যথাক্রমে $^1/_2$ অণু হাইড্রোজেন ও $^1/_2$ অণু ক্লোরিন থেকে। তাই একটি হাইড্রোজেন ও একটি ক্লোরিন অণুর মধ্যে কমপক্ষে দুটি করে পরমাণু থাকবে,—**অর্থাৎ হাইড্রোজেন ও ক্লোরিন অণু দ্বি-পরমাণুক।**

(2) কোনো গ্যাসের আণবিক গুরুত্ব সেই গ্যাসের বাষ্পঘনত্বের দ্বিগুণ ঃ

গ্যাসের প্রমাণ ঘনত্ব (Density) ঃ **S.T.P.-তে এক লিটার গ্যাসের গ্রামে প্রকাশিত ভরকে গ্যাসটির প্রমাণ ঘনত্ব বলে।** যেমন, অক্সিজেনের প্রমাণ ঘনত্ব = 1·43 গ্রাম/লিটার—অর্থাৎ S.T.P.-তে 1 লিটার O_2 গ্যাসের ভর = 1·43 গ্রাম।

গ্যাসের বাষ্পঘনত্ব বা আপেক্ষিক ঘনত্ব ঃ একই চাপ ও উষ্ণতায় কোনো গ্যাসের ভর, ওর সম-আয়তন হাইড্রোজেন গ্যাসের ভরের চেয়ে যতগুণ ভারী, সেই সংখ্যাকে ওই গ্যাসের বাষ্পঘনত্ব বা আপেক্ষিক ঘনত্ব বলে।

- **প্রমাণ ঘনত্ব ও আপেক্ষিক ঘনত্বের সম্পর্ক ঃ**

$$\text{বাষ্প ঘনত্ব বা আপেক্ষিক ঘনত্ব} = \frac{\text{S.T.P.-তে } V \text{ আয়তন গ্যাসের ভর}}{\text{S.T.P.-তে } V \text{ আয়তন } H_2 \text{ গ্যাসের ভর}}$$

$$= \frac{\text{S.T.P.-তে 1 লিটার গ্যাসের ভর}}{\text{S.T.P.-তে 1 লিটার } H_2 \text{ গ্যাসের ভর}} = \frac{\text{গ্যাসের প্রমাণ ঘনত্ব}}{H_2 \text{ গ্যাসের প্রমাণ ঘনত্ব}}$$

অর্থাৎ, প্রমাণ চাপ ও উষ্ণতায়, আপেক্ষিক ঘনত্ব বা বাষ্পঘনত্ব × H_2 গ্যাসের প্রমাণ ঘনত্ব = গ্যাসের প্রমাণ ঘনত্ব।

H_2 গ্যাসের প্রমাণ ঘনত্ব = 1 লিটার H_2 গ্যাসের ওজন (S.T.P.-তে) = 0·089 গ্রাম।

∴ S.T.P.-তে গ্যাসের বাষ্পঘনত্ব × 0·089 = গ্যাসের প্রমাণ ঘনত্ব।

● **গ্যাসের আপেক্ষিক ঘনত্ব বা বাষ্প ঘনত্ব এবং আণবিক গুরুত্বের মধ্যে সম্পর্ক** (Relation between vapour density and molecular weight of a gas) ঃ বাষ্প ঘনত্বের সংজ্ঞা অনুযায়ী—

গ্যাসের বাষ্পঘনত্ব $D = \dfrac{V \text{ আয়তন গ্যাসের ভর}}{V \text{ আয়তন হাইড্রোজেনের ভর}}$ [একই চাপ ও উষ্ণতায়]

V = যে কোনো সংখ্যা। অ্যাভোগাড্রো-প্রকল্প অনুসারে একই চাপ ও উষ্ণতায় V আয়তন গ্যাসে যদি n-সংখ্যক অণু থাকে, তবে V আয়তন হাইড্রোজেনেও n-সংখ্যক হাইড্রোজেন অণু থাকবে।

সুতরাং, বাষ্পঘনত্ব $D = \dfrac{\text{গ্যাসের } n\text{-সংখ্যক অণুর ভর}}{\text{হাইড্রোজেনের } n\text{-সংখ্যক অণুর ভর}} = \dfrac{n \times \text{গ্যাসের একটি অণুর ভর}}{n \times \text{হাইড্রোজেনের একটি অণুর ভর}}$

$= \dfrac{\text{গ্যাসের একটি অণুর ভর}}{\text{হাইড্রোজেনের একটি অণুর ভর}} = \dfrac{\text{গ্যাসের একটি অণুর ভর}}{\text{হাইড্রোজেনের 2টি পরমাণুর ভর}}$

[$\because$ অ্যাভোগাড্রো প্রকল্প অনুসারে হাইড্রোজেন অণু দ্বি-পরমাণুক]

$= \dfrac{\text{গ্যাসের 1টি অণুর ভর}}{2 \times \text{হাইড্রোজেনের 1টি পরমাণুর ভর}} = \dfrac{1}{2} \times \dfrac{\text{গ্যাসের 1টি অণুর ভর}}{\text{হাইড্রোজেনের 1টি পরমাণুর ভর}}$

$= \dfrac{1}{2} \times$ গ্যাসের আণবিক গুরুত্ব [হাইড্রোজেনের পারমাণবিক গুরুত্ব = 1 ধরে]

বা, $2 \times$ গ্যাসের বাষ্পঘনত্ব (D) = গ্যাসের আণবিক গুরুত্ব (M)।

অর্থাৎ, **কোনো গ্যাসের আণবিক গুরুত্ব সেই গ্যাসের বাষ্পঘনত্বের দ্বিগুণ বা, $M = 2D$**

[হাইড্রোজেনের পারমাণবিক গুরুত্ব 1·008 ধরলে, আণবিক গুরুত্ব (M) = 2·016 × বাষ্পঘনত্ব (D)]

● **গ্যাসের ঘনত্ব এবং আপেক্ষিক ঘনত্ব উষ্ণতা ও চাপের উপর নির্ভর করে কী ?**

কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন, চাপ এবং উষ্ণতা দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়, সুতরাং গ্যাসের ঘনত্ব, চাপ এবং উষ্ণতার উপর নির্ভর করে। অপরদিকে গ্যাসের বাষ্পঘনত্ব হল কোনো আয়তন গ্যাসের ভর এবং সমআয়তন H_2 গ্যাসের ভরের অনুপাত। সুতরাং গ্যাসের ভর এবং সমআয়তন H_2 গ্যাসের ভর, চাপ এবং উষ্ণতা দ্বারা সমান ভাবে প্রভাবিত হয়। যেহেতু বাষ্পঘনত্ব দুটি রাশির অনুপাত, তাই উষ্ণতা এবং চাপের পরিবর্তনে প্রভাবিত হয় না।

গ্যাসের ঘনত্ব ও বাষ্প ঘনত্বের পার্থক্য ঃ (i) S.T.P.-তে 1 লিটার গ্যাসের গ্রামে প্রকাশিত ভরকে ওর প্রমাণ ঘনত্ব বলে। অপরদিকে একই চাপ ও উষ্ণতায় কোনো গ্যাসের ভর ওর সমআয়তনের H_2 গ্যাসের ভরের চেয়ে যত গুণ ভারী, সেই সংখ্যাকে ওই গ্যাসের বাষ্প ঘনত্ব বলে। (ii) গ্যাসের ঘনত্ব প্রমাণ চাপ ও উষ্ণতায় মাপা হয়, কিন্তু বাষ্প ঘনত্ব চাপ ও উষ্ণতার উপর নির্ভর করে না। (iii) গ্যাসের ঘনত্বের একক আছে—গ্রাম/লিটার। একই চাপ ও উষ্ণতায়, দুটি সমআয়তন গ্যাসের অনুপাত বলে, বাষ্পঘনত্ব একটি সংখ্যা—এর কোনো একক নেই। (iv) গ্যাসের ঘনত্ব = বাষ্পঘনত্ব × 0·089।

● **গ্রাম-আণবিক আয়তন বা মোলার আয়তন** (Molar volume) ঃ

কোনো নির্দিষ্ট চাপ ও উষ্ণতায় এক গ্রাম অণু পরিমাণ যে কোনো গ্যাসের (মৌলিক বা যৌগিক) আয়তন সমান হয়। গ্যাসের এই আয়তনকে ওই অবস্থায় গ্যাসটির গ্রাম আণবিক আয়তন বা মোলার আয়তন বলে।

প্রমাণ চাপ ও উষ্ণতায় (S.T.P.) মৌলিক বা যৌগিক, সব গ্যাসের এক গ্রাম-অণুর আয়তন = 22·4 লিটার হয়। এই আয়তনকে S.T.P.-তে গ্যাসের গ্রাম আণবিক আয়তন (Molar Volume) বলে।

(3) প্রমাণ চাপ ও উষ্ণতায় এক গ্রাম-অণু যে কোনো গ্যাসের (মৌলিক বা যৌগিক) আয়তন 22·4 লিটার হয়। অ্যাভোগাড্রো-প্রকল্পের সাহায্যে এই ঘটনা প্রমাণ করা যায়।

বাষ্পঘনত্বের সংজ্ঞা থেকে পাই, প্রমাণ চাপ ও উষ্ণতায়—

গ্যাসের বাষ্পঘনত্ব $D = \dfrac{V \text{ লিটার গ্যাসের ভর}}{V \text{ লিটার হাইড্রোজেনের ভর}} = \dfrac{V \times 1 \text{ লিটার গ্যাসের ভর}}{V \times 1 \text{ লিটার হাইড্রোজেনের ভর}}$

$= \dfrac{1 \text{ লিটার গ্যাসের ভর}}{1 \text{ লিটার হাইড্রোজেনের ভর}} = \dfrac{1 \text{ লিটার গ্যাসের ভর}}{0{\cdot}0898 \text{ গ্রাম}}$

কারণ, S.T.P.-তে এক লিটার H_2-এর ভর = 0·0898 গ্রাম।

সুতরাং, S.T.P.-তে এক লিটার যে-কোনো গ্যাসের ভর = সেই গ্যাসের বাষ্পঘনত্ব × 0·0898 গ্রাম।

অ্যাভোগাড্রো প্রকল্প অনুসারে, বাষ্পঘনত্ব $D = \frac{\text{আণবিক গুরুত্ব}}{2·016} = \frac{M}{2·016}$ (M = আণবিক গুরুত্ব)

∴ S.T.P.-তে 1 লিটার যে-কোনো গ্যাসের ভর = $M/2·016 \times 0·0898$ গ্রাম

অর্থাৎ, $(\frac{M}{2·016} \times 0·0898)$ গ্রাম গ্যাসের আয়তন S.T.P.-তে = 1 লিটার।

∴ S.T.P.-তে M গ্রাম অর্থাৎ এক গ্রাম অণু গ্যাসের আয়তন = $\frac{2·016}{0·0898}$ লিটার = 22·4 লিটার = 22400 cc

যেহেতু গ্যাসের আয়তন রাশিটির মধ্যে M নেই, তাই M-এর মান যাই হোক না কেন, যে-কোনো গ্যাসের আয়তন S.T.P.-তে 22·4 লিটার হবে।

● **সমআয়তন এবং সমভর বিশিষ্ট গ্যাসীয় পদার্থের মধ্যে অণুর সংখ্যার অনুপাত ঃ**

S.T.P.-তে 1 গ্রাম অণু সব গ্যাসের আয়তন সমান = 22·4 লিটার।

সুতরাং আণবিক গুরুত্বের অনুপাত বিভিন্ন হলেও একই চাপ এবং উষ্ণতায় সম-আয়তন গ্যাসের মধ্যে অণুর সংখ্যার অনুপাত 1 ঃ 1 হবে। **কিন্তু সমভরের দুটি বিভিন্ন গ্যাসের অণুর সংখ্যা এক হয় না। এক্ষেত্রে গ্যাস দুটির অণুর সংখ্যার অনুপাত ওদের আণবিক গুরুত্বের অনুপাতের উপর নির্ভর করে।**

ধরি, X এবং Y দুটি গ্যাসের আণবিক গুরুত্ব যথাক্রমে M_1 এবং M_2। দুটি গ্যাসের সমান ভর W g নেওয়া হল।

এখন X গ্যাসের আণবিক গুরুত্ব = M_1

সুতরাং, M_1 g X গ্যাসের মধ্যে অণুর সংখ্যা = $6·023 \times 10^{23}$

∴ W g X গ্যাসের মধ্যে অণুর সংখ্যা = $\frac{W}{M_1} \times 6·023 \times 10^{23}$

অনুরূপে M_2 g Y গ্যাসের মধ্যে অণুর সংখ্যা = $6·023 \times 10^{23}$

∴ W g Y গ্যাসের মধ্যে অণুর সংখ্যা = $\frac{W}{M_2} \times 6·023 \times 10^{23}$

∴ সমভরের (W g) X এবং Y গ্যাস দুটির অণুর সংখ্যার অনুপাত = $\frac{W \times 6·023 \times 10^{23}}{M_1} : \frac{W \times 6·023 \times 10^{23}}{M_2} = M_2 : M_1$

(4) কোনো গ্যাসের আয়তনসংযুতি থেকে গ্যাসটির আণবিক সংকেত নির্ণয় ঃ

কোনো একটি গ্যাস কী কী মৌলিক গ্যাস দ্বারা গঠিত এবং মৌলিক গ্যাসগুলি কী আয়তনে পরস্পর সংযুক্ত এবং গ্যাসটির বাষ্পঘনত্ব কত—এগুলি জানা থাকলে অ্যাভোগাড্রো-প্রকল্পের সাহায্যে যে-কোনো গ্যাসীয় পদার্থের আণবিক সংকেত নির্ণয় করা যায়। যেমন—

অ্যামোনিয়ার আণবিক সংকেত নির্ণয় ঃ বাস্তব পরীক্ষায় দেখা গেছে—

(i) অ্যামোনিয়ার অণুতে নাইট্রোজেন ও হাইড্রোজেন আছে।

(ii) 3 আয়তন হাইড্রোজেনের সঙ্গে 1 আয়তন নাইট্রোজেন যুক্ত হয়ে 2 আয়তন অ্যামোনিয়া উৎপন্ন হয় (একই উষ্ণতা ও চাপে)।

ধরি, 1 আয়তন হাইড্রোজেন গ্যাসের মধ্যে n-সংখ্যক অণু আছে।

আয়তনিক সমীকরণের বদলে অণুর সংখ্যা দিয়ে সমীকরণ লিখলে আমরা পাই,

$3n$ সংখ্যক হাইড্রোজেন অণু + n-সংখ্যক নাইট্রোজেন অণু = $2n$ সংখ্যক অ্যামোনিয়া অণু।

অথবা, 3 অণু হাইড্রোজেন + 1 অণু নাইট্রোজেন = 2 অণু অ্যামোনিয়া।

অর্থাৎ, 6 পরমাণু হাইড্রোজেন + 2 পরমাণু নাইট্রোজেন = 2 অণু অ্যামোনিয়া।

[হাইড্রোজেন এবং নাইট্রোজেন দ্বি-পরমাণুক]

∴ 1 অণু অ্যামোনিয়া, 3টি H পরমাণু এবং 1টি N পরমাণু দ্বারা গঠিত।

সুতরাং, অ্যামোনিয়ার সরল সংকেত NH_3। ধরি, অ্যামোনিয়ার আণবিক সংকেত $(NH_3)_x$ [x = পূর্ণ সংখ্যা]

সুতরাং আণবিক গুরুত্ব = $(14+3)x = 17x$. এখন অ্যামোনিয়ার বাষ্পঘনত্ব = 8·5; সুতরাং আণবিক গুরুত্ব = $8·5 \times 2 = 17$

$\therefore 17x = 17$ বা, $x = 1$ সুতরাং অ্যামোনিয়ার আণবিক সংকেত NH_3.

(5) অ্যাভোগাড্রো-প্রকল্পের সাহায্যে মৌলের পারমাণবিক গুরুত্ব নির্ণয় ঃ

গ্যাসীয় মৌলগুলির ক্ষেত্রে এই পদ্ধতিতে মৌলের পারমাণবিক গুরুত্ব নির্ণয় করা যায়।

প্রথমে পরীক্ষার সাহায্যে গ্যাসীয় মৌলের বাষ্পঘনত্ব নির্ণয় করা হয়। তারপর অ্যাভোগাড্রো-প্রকল্প থেকে পাওয়া— 'বাষ্পঘনত্ব × 2 = আণবিক গুরুত্ব'—এই সম্পর্ক থেকে গ্যাসটির আণবিক গুরুত্ব নির্ণয় করা হয়। গ্যাসটির একটি অণু যতগুলি পরমাণু দ্বারা গঠিত, সেই সংখ্যা দিয়ে প্রাপ্ত আণবিক গুরুত্বকে ভাগ করে গ্যাসটির পারমাণবিক গুরুত্ব নির্ণয় করা হয়।

$$\text{পারমাণবিক গুরুত্ব} = \frac{\text{গ্যাসের আণবিক গুরুত্ব}}{\text{গ্যাসের পারমাণবিকতা}} = \frac{2 \times \text{বাষ্পঘনত্ব}}{\text{পারমাণবিকতা}}$$

যেমন পরীক্ষার দ্বারা পাওয়া যায় N_2-এর বাষ্পঘনত্ব = 14, নাইট্রোজেনের পারমাণবিকতা = 2.

$\therefore N_2$-এর পারমাণবিক গুরুত্ব = $\frac{2 \times 14}{2} = 14$.

1.4. অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা [Avogadro's number]

অ্যাভোগাড্রো প্রকল্প অনুসারে প্রমাণ চাপ ও উষ্ণতায় সম-আয়তন সব গ্যাসের মধ্যে সমান-সংখ্যক অণু বর্তমান থাকে। আবার এই প্রকল্পের সাহায্যে প্রমাণ করা হয়েছে যে, প্রমাণ চাপ ও উষ্ণতায় সমস্ত গ্যাসের (মৌলিক বা যৌগিক) এক গ্রাম অণুর আয়তন 22·4 লিটার। অতএব সিদ্ধান্ত করা যায় যে, **যে-কোনো পদার্থের এক গ্রাম-অণু পরিমাণের মধ্যে সমান-সংখ্যক অণু বর্তমান থাকে, যদিও অণুগুলির ভর বিভিন্ন হয়।**

(i) ***মৌলিক বা যৌগিক যে-কোনো পদার্থের এক গ্রাম-অণু পরিমাণের মধ্যে সমান সংখ্যক অণু বর্তমান থাকে। এই সংখ্যাকে অ্যাভোগাড্রো-সংখ্যা বলে।*** এই সংখ্যাটিকে N_A অক্ষর দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

অ্যাভোগাড্রো-সংখ্যা $N_A = 6 \cdot 023 \times 10^{23}$, বিজ্ঞানী মিলিকান এই সংখ্যা নির্ণয় করেন।

এই নিত্য সংখ্যাটি চাপ এবং উষ্ণতার উপর নির্ভর করে না। কারণ চাপ ও উষ্ণতার পরিবর্তনে গ্যাসের আয়তনের পরিবর্তন হতে পারে, কিন্তু ভর এবং অণুর সংখ্যার কোনো পরিবর্তন হয় না। সুতরাং এক গ্রাম অণু যে কোনো পদার্থের মধ্যে $6 \cdot 023 \times 10^{23}$ সংখ্যক অণু বর্তমান থাকবে।

এক গ্রাম অণু O_2 = 32 g, এক গ্রাম অণু N_2 = 28 g, এক গ্রাম অণু CO_2 = 44 g,

সুতরাং 32 g O_2 -এর মধ্যে অথবা 28 g N_2 -এর মধ্যে বা 44 g CO_2 -এর মধ্যে অণুর সংখ্যা = $N_A = 6 \cdot 023 \times 10^{23}$ হবে।

(ii) আবার এক গ্রাম পরমাণু পরিমাণ কোনো মৌলে যত সংখ্যক পরমাণু বর্তমান থাকে, সেই সংখ্যাকেও অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা N_A বলে। যেমন, 12 g কার্বনের মধ্যে C পরমাণুর সংখ্যা = $6 \cdot 023 \times 10^{23}$।

(iii) S.T.P.-তে এক গ্রাম অণু গ্যাসীয় পদার্থের আয়তন = 22·4 লিটার। সুতরাং বলা যায়—

S.T.P.-তে 22·4 লিটার আয়তনের গ্যাসের মধ্যে যত সংখ্যক অণু থাকে, সেই সংখ্যাকেও অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা বলে।

● **অ্যাভোগাড্রো সংখ্যার সাহায্যে (i) গ্রাম পরমাণু, (ii) গ্রাম অণু, (iii) পারমাণবিক গুরুত্ব এবং (iv) আণবিক গুরুত্বের সংজ্ঞা ঃ**

(i) পারমাণবিক ভর এককে কোনো মৌলের $6 \cdot 023 \times 10^{23}$ সংখ্যক পরমাণুর ভরই হল ওই মৌলের গ্রাম পরমাণু। যেমন $6 \cdot 023 \times 10^{23}$ সংখ্যক অক্সিজেন পরমাণুর ভর = 16 গ্রাম। সুতরাং 16 গ্রাম O_2 = এক গ্রাম পরমাণু অক্সিজেন।

(ii) পারমাণবিক ভর এককে মৌল অথবা যৌগের $6 \cdot 023 \times 10^{23}$ সংখ্যক অণুর ভরই হল ওই মৌল বা যৌগের গ্রাম-অণু। যেমন, $6 \cdot 023 \times 10^{23}$ সংখ্যক CO_2 অণুর ভর = 44 g। সুতরাং 44 g CO_2 = **1 গ্রাম-অণু CO_2**।

(iii) কোনো মৌলের $6 \cdot 023 \times 10^{23}$ সংখ্যক পরমাণুর ভর যত গ্রাম, সেই গ্রাম-সংখ্যাটি হল ওই মৌলের পারমাণবিক গুরুত্ব। যেমন, $6 \cdot 023 \times 10^{23}$ সংখ্যক H পরমাণুর ভর = 1·008 g $\therefore$ হাইড্রোজেনের পারমাণবিক গুরুত্ব = 1·008

(iv) কোনো মৌল বা যৌগের $6 \cdot 023 \times 10^{23}$ সংখ্যক অণুর ভর যত গ্রাম, সেই গ্রাম-সংখ্যাই হল ওই মৌল বা যৌগের আণবিক গুরুত্ব। যেমন, $6 \cdot 023 \times 10^{23}$ সংখ্যক নাইট্রোজেন অণুর ভর = 28 g। $\therefore$ **নাইট্রোজেনের আণবিক গুরুত্ব = 28.**

● **অ্যাভোগাড্রো সংখ্যার সাহায্যে অণু বা পরমাণুর প্রকৃত ভর নির্ণয় ঃ**

অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা জানা থাকলে গ্রাম আণবিক ভর থেকে একটি অণু বা পরমাণুর প্রকৃত ভর নির্ণয় করা যায়।

(i) হাইড্রোজেন পরমাণুর প্রকৃত ভর নির্ণয় ঃ হাইড্রোজেনের আণবিক গুরুত্ব = 2·016

হাইড্রোজেনের গ্রাম আণবিক ভর = 2·016 g

অ্যাভোগাড্রো প্রকল্প অনুসারে, 2·016 g H_2-এর মধ্যে অণুর সংখ্যা = $6·023 \times 10^{23}$

$\therefore$ বলা যায় $6·023 \times 10^{23}$ সংখ্যক হাইড্রোজেন অণুর ভর = 2·016 g

$\therefore$ 1টি হাইড্রোজেন অণুর ভর = $\frac{2·016}{6·023 \times 10^{23}} = 3·35 \times 10^{-24}$ g

একটি হাইড্রোজেন অণুতে 2টি পরমাণু আছে, 1টি H পরমাণুর ভর = $\frac{3·35 \times 10^{-24}}{2}$ = **$1·673 \times 10^{-24}$ g**

(ii) অক্সিজেন অণুর প্রকৃত ভর নির্ণয় ঃ অক্সিজেনের আণবিক গুরুত্ব = 32

সুতরাং 1 গ্রাম-অণু অক্সিজেন = 32 g $\quad \therefore$ 32 g O_2-এর মধ্যে অণুর সংখ্যা = $6·023 \times 10^{23}$

সুতরাং বলা যায়, $6·023 \times 10^{23}$ সংখ্যক O_2 অণুর ভর = 32 g

1টি অক্সিজেন অণুর ভর = $\frac{32}{6·023 \times 10^{23}}$ = **$5·31 \times 10^{-23}$ g**

দেখা গেছে 1টি H পরমাণুর প্রকৃত ভর= $1·673 \times 10^{-24}$ g। সুতরাং এর থেকে অন্যান্য মৌলের পরমাণুর প্রকৃত ভর সহজে নির্ণয় করা যায়। কারণ আমরা জানি, মৌলের পারমাণবিক গুরুত্ব = মৌলের একটি পরমাণু, 1টি H পরমাণুর চেয়ে যতগুণ ভারী। সুতরাং, **মৌলের 1টি পরমাণুর প্রকৃত ভর = পারমাণবিক গুরুত্ব × 1টি H পরমাণুর প্রকৃত ভর = $A \times 1·673 \times 10^{-24}$ g** (A = পারমাণবিক গুরুত্ব)।

1.5. পারমাণবিক গুরুত্ব ও গ্রাম-পরমাণু [Atomic Mass and Gram atom]

● **পারমাণবিক গুরুত্ব ঃ কোনো মৌলের একটি পরমাণু, একটি কার্বন-12 (C^{12}) পরমাণুর ভরের 1/12 অংশের চেয়ে যত গুণ ভারী—সেই গুণিতক সংখ্যাকে ওই মৌলের পারমাণবিক গুরুত্ব বলে।**

অর্থাৎ পারমাণবিক গুরুত্ব = $\frac{\text{মৌলের 1টি পরমাণুর ভর}}{\text{1টি } C^{12} \text{ পরমাণুর ভর}} \times 12$

● **গ্রাম-পরমাণু ঃ কোনো মৌলিক পদার্থের পারমাণবিক গুরুত্বকে গ্রামে প্রকাশ করলে যত গ্রাম হয়, তত গ্রাম ভরের পদার্থকে মৌলটির এক গ্রাম-পরমাণু বা গ্রাম পারমাণবিক গুরুত্ব বলে।**

যেমন—অক্সিজেনের পারমাণবিক গুরুত্ব = 16, এখন 16 g অক্সিজেনকে এক গ্রাম-পরমাণু অক্সিজেন বলে। 2 গ্রাম-পরমাণু নাইট্রোজেন বলতে $2 \times 14 = 28$ g নাইট্রোজেনকে বোঝায়। 3 গ্রাম-পরমাণু অক্সিজেন বলতে $3 \times 16 = 48$ g অক্সিজেন বোঝায়।

● **পারমাণবিক ভর একক ঃ কোনো মৌলের 1টি পরমাণুর প্রকৃত ভরকে যে একক দ্বারা প্রকাশ করা হয় সেই একককে পারমাণবিক ভর একক (a.m.u.) বলে।**

পারমাণবিক ভর এককের মান হল, কার্বনের প্রধান আইসোটোপ C^{12}-এর একটি পরমাণুর প্রকৃত ভরের 1/12 অংশ।

এক পারমাণবিক ভর একক (a.m.u.) = 1/12 × 1টি C^{12} পরমাণুর প্রকৃত ভর।

কার্বনের পারমাণবিক গুরুত্ব = 12, সুতরাং 1 গ্রাম-পরমাণু কার্বন = 12 g কার্বন।

অ্যাভোগাড্রো প্রকল্প থেকে পাওয়া যায়, 12 g কার্বনের মধ্যে $6·023 \times 10^{23}$ সংখ্যক C পরমাণু আছে।

অর্থাৎ, $6·023 \times 10^{23}$ সংখ্যক C^{12} পরমাণুর ভর = 12 g

$\therefore$ 1টি C^{12} পরমাণুর ভর = $\frac{12}{6·023 \times 10^{23}}$ g = $1·9923 \times 10^{-23}$ g

সুতরাং, এক পারমাণবিক ভর একক (a.m.u.) = 1/12 × 1টি C^{12} পরমাণুর ভর = $1/12 \times 1·9923 \times 10^{-23}$ g

= **$1·6603 \times 10^{-24}$ g**

কোনো মৌলের 1টি পরমাণুর প্রকৃত ভর = মৌলটির পারমাণবিক গুরুত্ব × এক পারমাণবিক ভর একক।

এই হিসাবে 1টি H পরমাণুর ভর = 1·008 a.m.u. = $1·008 \times 1·6603 \times 10^{-24}$ g = $1·673 \times 10^{-24}$ g

(i) পারমাণবিক ভর এককে **ফ্লুওরিনের পারমাণবিক গুরুত্ব** = 19·02

সুতরাং 1টি ফ্লুওরিন পরমাণুর প্রকৃত ভর = $19·02 \times 1·6603 \times 10^{-24}$ g = $\mathbf{3·158 \times 10^{-23}}$ **g**

***(ii)* 'অ্যামোনিয়ার আণবিক ভর 17 a.m.u'** বলতে বোঝায় যে,

একটি NH_3 অণুর প্রকৃত ভর = $17 \times 1·6603 \times 10^{-24}$ g = $\mathbf{2·82 \times 10^{-23}}$ **g**

1.6. আণবিক গুরুত্ব ও গ্রাম আণবিক ভর বা গ্রাম মোল [Molecular weight and Gram Molecular weight or Gram Mole]

● আণবিক গুরুত্ব ঃ *কোনো মৌল বা যৌগের একটি অণু, একটি কার্বন-12 (C^{12}) পরমাণুর ভরের 1/12 অংশের চেয়ে যত গুণ ভারী, সেই গুণিতক সংখ্যাকে ওই মৌল বা যৌগের আণবিক গুরুত্ব বলে।*

$$\text{আণবিক গুরুত্ব} = \frac{\text{মৌল বা যৌগের 1টি অণুর ভর}}{\text{1টি } C^{12} \text{ পরমাণুর ভরের 1/12 অংশ}}$$

এই স্কেল অনুযায়ী CO_2-এর আণবিক গুরুত্ব = 44 বলতে এই বোঝায় যে 1টি কার্বন (C^{12}) পরমাণুর ভরের 1/12 অংশের চেয়ে 1টি CO_2 অণু 44 গুণ ভারী। আণবিক গুরুত্ব একটি অণুর আপেক্ষিক ভর প্রকাশ করে মাত্র।

● **গ্রাম অণু বা গ্রাম মোল বা গ্রাম আণবিক ওজন ঃ** *কোনো মৌল বা যৌগের আণবিক গুরুত্বকে গ্রামে প্রকাশ করলে যত গ্রাম হয়, তত গ্রাম ভরের পদার্থকে ওই মৌল বা যৌগের গ্রাম অণু বা গ্রাম মোল বা গ্রাম-আণবিক ওজন বলে।* যেমন, অক্সিজেনের আণবিক গুরুত্ব = 32, সুতরাং, অক্সিজেনের গ্রাম-আণবিক ওজন = 32 g। অনুরূপে, সালফিউরিক অ্যাসিডের গ্রাম-আণবিক ওজন = 98 g। 10 গ্রাম-অণু H_2SO_4 বললে 98×10 g = 980 g সালফিউরিক অ্যাসিড বোঝায়। CO_2-এর আণবিক গুরুত্ব = 44, সুতরাং, 1 গ্রাম-অণু CO_2 = 44 g CO_2, 0·5 গ্রাম-অণু CO_2 = 22 g CO_2।

1.7. তুল্যাঙ্কভার [Equivalent weight]

কোনো মৌলের যতভাগ ওজন 1·008 ভাগ ওজনের হাইড্রোজেন কিংবা 8 ভাগ ওজনের অক্সিজেন অথবা 35·5 ভাগ ওজনের ক্লোরিনের সঙ্গে যুক্ত হয়, অথবা কোনো যৌগ থেকে ওই ওই ভাগ ওজনের হাইড্রোজেন, অক্সিজেন বা ক্লোরিনকে প্রতিস্থাপিত করে, মৌলটির ততভাগ ওজনের সংখ্যাকে ওই মৌলের তুল্যাঙ্কভার বলে।

$$\text{মৌলের তুল্যাঙ্কভার} = \frac{\text{মৌলের ওজন} \times 1·008}{\text{প্রতিস্থাপিত বা সংযুক্ত হাইড্রোজেনের ওজন}} = \frac{\text{মৌলের ওজন} \times 35·5}{\text{প্রতিস্থাপিত বা সংযুক্ত ক্লোরিনের ওজন}}$$

$$= \frac{\text{মৌলের ওজন} \times 8}{\text{প্রতিস্থাপিত বা সংযুক্ত অক্সিজেনের ওজন}}$$

যেহেতু, তুল্যাঙ্কভার দুটি ওজনের অনুপাত, সেইজন্য তুল্যাঙ্কভারের কোনো একক নেই—একটি সংখ্যামাত্র।

উদাহরণ ঃ (i) ক্যালশিয়ামের সঙ্গে হাইড্রোজেনের বিক্রিয়ায় ক্যালশিয়াম হাইড্রাইড উৎপন্ন হয়।

$$\underset{\text{40 ভাগ ওজন}}{Ca} + \underset{\text{2 ভাগ ওজন}}{H_2} = CaH_2$$

দেখা যায় 2 ভাগ ওজনের H_2 যুক্ত হয় 40 ভাগ ওজনের Ca-এর সঙ্গে।

∴ 1 ভাগ ওজনের H_2 যুক্ত হয় 40/2 = 20 ভাগ ওজনের Ca-এর সঙ্গে। সুতরাং Ca-এর তুল্যাঙ্কভার = 20

(ii) Mg-এর সঙ্গে O_2-এর বিক্রিয়ায় দেখা যায়— $\underset{(2 \times 24)}{2Mg} + \underset{32}{O_2} = 2MgO$

32 ভাগ ওজনের O_2 যুক্ত হয় 48 ভাগ ওজনের Mg এর সঙ্গে।

8 ভাগ ওজনের O_2 যুক্ত হয় $\frac{48 \times 8}{32}$ = 12 ভাগ ওজনের Mg এর সঙ্গে, সুতরাং Mg-এর তুল্যাঙ্কভার = 12

● **গ্রাম-তুল্যাঙ্কভার ঃ** *কোনো মৌলের তুল্যাঙ্কভারকে গ্রামে প্রকাশ করলে যত গ্রাম হয়, তাকে ওই মৌলের গ্রাম-তুল্যাঙ্ক বলে।*

অর্থাৎ কোনো মৌলের যত গ্রাম; 1·008 গ্রাম হাইড্রোজেন বা 8 গ্রাম অক্সিজেন বা 35·5 গ্রাম ক্লোরিনের সঙ্গে যুক্ত হয় অথবা কোনো যৌগ থেকে ওই ওই গ্রাম পরিমাণ হাইড্রোজেন, অক্সিজেন বা ক্লোরিনকে প্রতিস্থাপিত করে, তত গ্রাম মৌলকে মৌলটির গ্রাম-তুল্যাঙ্ক বলে।

যেমন, ম্যাগনেশিয়ামের তুল্যাঙ্কভার = 12. এখন 12 গ্রাম ম্যাগনেশিয়াম = ম্যাগনেশিয়ামের এক গ্রাম তুল্যাঙ্কভার। 24 গ্রাম ম্যাগনেশিয়াম = ম্যাগনেশিয়ামের 2 গ্রাম তুল্যাঙ্কভার।

● যোজ্যতা ঃ কোনো মৌলের পরমাণুর অন্য মৌলের পরমাণুর সাথে যুক্ত হওয়ার ক্ষমতাকে ওই মৌলের যোজ্যতা বলে। সাধারণভাবে, কোনো মৌলের একটি পরমাণু যত সংখ্যক H পরমাণুর সাথে যুক্ত হতে পারে বা হাইড্রোজেন ঘটিত যৌগের অণু থেকে যে কটি H পরমাণুকে প্রতিস্থাপিত করতে পারে। সেই সংখ্যাই হল ওই মৌলের যোজ্যতার পরিমাপ।

হাইড্রোজেনের যোজ্যতা 1 ধরা হয়।

এখন, 1টি Cl পরমাণু 1টি H পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত হয়ে একটি HCl অণু উৎপন্ন করে ; তাই Cl পরমাণুর যোজ্যতা 1. একটি O পরমাণু 2টি H পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত হয়ে একটি H_2O অণু গঠন করে ; তাই O-এর যোজ্যতা 2. একটি N পরমাণু 3টি H পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত হয়ে একটি NH_3 অণু গঠন করে ; তাই N-এর যোজ্যতা 3. একটি C পরমাণু 4টি H পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত হয়ে একটি CH_4 অণু গঠন করে ; তাই C-এর যোজ্যতা = 4.

যৌগ	যুক্ত H পরমাণুর সংখ্যা	যোজ্যতা
HCl	1	Cl-এর যোজ্যতা = 1
H_2O	2	O " " = 2
NH_3	3	N " " = 3
CH_4	4	C " " = 4

হাইড্রোজেন কিন্তু সব মৌলের সাথে যুক্ত হয় না,—Cl পরমাণু কিন্তু প্রায় সব মৌলের সাথে যুক্ত হতে পারে। তাই বলা যায় যে কোনো মৌলের 1টি পরমাণু যত সংখ্যক Cl পরমাণুর সাথে যুক্ত হতে পারে, সেই সংখ্যাই হল ওই পরমাণুর যোজ্যতার পরিমাপ। যেমন 1টি Al পরমাণু 3টি Cl পরমাণুর সাথে যুক্ত হয়ে $AlCl_3$ উৎপন্ন করে, সুতরাং Al-এর যোজ্যতা = 3.

আবার 1টি O পরমাণুর যোজ্যতা 2, একটি O পরমাণু 1টি Zn পরমাণুর সাথে যুক্ত হয়ে ZnO উৎপন্ন করে—তাই Zn-এর যোজ্যতাও 2.

He, Ne, Ar প্রভৃতি নিষ্ক্রিয় গ্যাসগুলি সাধারণত কোনো মৌলের সাথে যুক্ত হয় না—তাই এদের যোজ্যতা শূন্য ধরা হয়।

যোজ্যতা সর্বদা পূর্ণ সংখ্যার হয়—যোজ্যতা কখনো ভগ্নাংশ হয় না।

● **মৌলের তুল্যাঙ্কভার ও পারমাণবিক গুরুত্বের মধ্যে সম্পর্ক ঃ**

ধরি, কোনো মৌলের তুল্যাঙ্কভার = E, পারমাণবিক গুরুত্ব = A এবং যোজ্যতা = V

মৌলের যোজ্যতার সংজ্ঞানুসারে বলা যায়—মৌলের 1টি পরমাণু যত সংখ্যক হাইড্রোজেন পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত হয় তাই হল ওই মৌলের যোজ্যতা।

সুতরাং V সংখ্যক হাইড্রোজেন পরমাণু যুক্ত হয় মৌলটির একটি পরমাণুর সঙ্গে।

এখন হাইড্রোজেনের পারমাণবিক গুরুত্ব = 1·008 এবং মৌলটির পারমাণবিক গুরুত্ব = A

সুতরাং ওজন হিসাবে লিখলে—

$\therefore V \times 1{\cdot}008$ ভাগ ওজনের হাইড্রোজেন যুক্ত হয় A ভাগ ওজনের মৌলের সঙ্গে,

সুতরাং 1·008 ভাগ ওজনের হাইড্রোজেন যুক্ত হয় $= \frac{A \times 1{\cdot}008}{V \times 1{\cdot}008} = \frac{A}{V}$ ভাগ ওজনের মৌলের সঙ্গে

সুতরাং সংজ্ঞানুসারে, তুল্যাঙ্কভার, $E = \frac{A\text{ (পাঃ গুরুত্ব)}}{V\text{ (যোজ্যতা)}}$ বা, $E \times V = A$

অর্থাৎ, তুল্যাঙ্কভার × যোজ্যতা = পারমাণবিক গুরুত্ব।

O^{18}-এর তুল্যাঙ্কভার ঃ এখানে O^{18}-এর পারমাণবিক গুরুত্ব = 18 এবং অক্সিজেনের যোজ্যতা = 2

আমরা জানি মৌলের তুল্যাঙ্কভার $= \frac{\text{পারমাণবিক গুরুত্ব}}{\text{যোজ্যতা}}$, সুতরাং O^{18}-এর তুল্যাঙ্কভার = 18/2 = 9

● **মূলকের তুল্যাঙ্কভার ঃ যত ভাগ ওজনের মূলক (Radical) 1·008 ভাগ ওজনের হাইড্রোজেন, বা 8 ভাগ ওজনের অক্সিজেন বা 35·5 ভাগ ওজনের ক্লোরিনের সঙ্গে যুক্ত হয়, তত ভাগ ওজনকে ওই মূলকের তুল্যাঙ্কভার বলে।**

উদাহরণ ঃ (i) যেমন, HNO_3-তে 1 ভাগ ওজনের H-এর সঙ্গে 62 ভাগ ওজনের NO_3^- মূলক যুক্ত হয়েছে।

$\therefore$ নাইট্রেট মূলকের (NO_3^-) তুল্যাঙ্কভার = 62

(ii) H_2SO_4-এ 2 ভাগ ওজনের H-এর সঙ্গে যুক্ত হয়েছে 96 ভাগ ওজনের SO_4^{2-} মূলক,

∴ SO_4^{2-} মূলকের তুল্যাঙ্কভার = $\frac{96}{2} = 48$

(iii) সোডিয়াম কার্বনেটে (Na_2CO_3) দেখা যায় 2×23 ভাগ ওজনের Na-এর সঙ্গে $(12+3\times16) = 60$ ভাগ ওজনের CO_3^{2-} মূলক যুক্ত হয়। সোডিয়ামের তুল্যাঙ্কভার = 23. সুতরাং 23 ভাগ ওজনের Na-এর সঙ্গে $\frac{60\times23}{2\times23} = 30$ ভাগ ওজনের CO_3^{2-} মূলক যুক্ত হয়। সুতরাং CO_3^{2-} মূলকের তুল্যাঙ্কভার = 30.

● **লবণের তুল্যাঙ্কভার ঃ নর্মাল লবণের যতভাগ ওজনে 1 তুল্যাঙ্ক-ভাগ ক্যাটায়ন থাকে, ততভাগ ওজনকে ওই লবণের তুল্যাঙ্কভার বলে।**

$$\text{লবণের তুল্যাঙ্কভার} = \frac{\text{লবণের আণবিক ওজন}}{\text{ক্যাটায়নের সংখ্যা} \times \text{যোজ্যতা}}$$

যেমন, $Al_2(SO_4)_3$-এর আণবিক ওজন = 342, লবণে ক্যাটায়ন Al^{3+}-এর সংখ্যা = 2, Al-এর যোজ্যতা = 3

∴ $Al_2(SO_4)_3$-এর তুল্যাঙ্কভার = $\frac{342}{2\times3} = 57$

লবণের মধ্যে অবস্থিত মৌল এবং তুল্যাঙ্কভার যোগ করেও লবণের তুল্যাঙ্কভার নির্ণয় করা যায়। যেমন Al-এর তুল্যাঙ্কভার = 9, সালফেট মূলকের তুল্যাঙ্কভার = 48. সুতরাং $Al_2(SO_4)_3$-এর তুল্যাঙ্কভার = 9 + 48 = 57; Na-এর তুল্যাঙ্কভার = 23 এবং কার্বনেটের তুল্যাঙ্কভার = 30, সুতরাং Na_2CO_3-এর তুল্যাঙ্কভার = 23 + 30 = 53.

● **গাণিতিক উদাহরণ** (Numerical examples) ঃ

(1) 0·2 g Mg-এর সাথে লঘু H_2SO_4-এর বিক্রিয়ায় 15°C উষ্ণতায় 751·5 mm চাপে 200 ml H_2 উৎপন্ন হয়। গ্যাসটিতে জলের উপর সংগ্রহ করা হয়। 15°C উষ্ণতায় বাষ্প চাপ = 13·5 mm এবং Mg-এর পারমাণবিক গুরুত্ব 24 হলে, Mg-এর তুল্যাঙ্কভার ও যোজ্যতা কত?

Ans. H_2-এর চাপ = 751·5 – 13·5 = 738 mm. ধরি, S.T.P.-তে H_2-এর আয়তন = *V* ml

তাহলে $\frac{V\times760}{273} = \frac{738\times200}{273+15}$ বা $V = \frac{273\times738\times200}{760\times288} = 184·09$ ml

S.T.P.-তে 22400 H_2-এর ওজন 2 g

∴ " " 184·09 " " " $\frac{2\times184·09}{22400}$ g = 0·0164 g

0·0164 g H_2 প্রতিস্থাপিত হয় 0·2 g Mg দ্বারা

∴ 1·008 g " " " $\frac{0·2\times1·008}{0·0164}$ = 12·2 g Mg দ্বারা।

∴ Mg-এর তুল্যাঙ্কভার = 12·2. যোজ্যতা = পা. ভর/তুল্যাঙ্কভার = 24/12·2 = 2.

(2) একটি ধাতব ক্লোরাইডের দ্রবণে 0·2 g ধাতব ক্লোরাইড আছে। ওই দ্রবণে কয়েক ফোঁটা HNO_3 এবং অতিরিক্ত $AgNO_3$ দ্রবণ যোগ করায়, 0·4905g AgCl অধঃক্ষিপ্ত হয়। ধাতুটির পারমাণবিক গুরুত্ব 23 হলে ধাতুটির তুল্যাঙ্কভার কত?

Ans. AgCl-এর আণবিক গুরুত্ব = 108 + 35·5 = 145·5

143·5 g AgCl-এর মধ্যে Cl-এর পরিমাণ 35·5 g

∴ 0·4905 g " " " " $\frac{35·5\times0·4905}{143·5}$ = 0·1213 g

সুতরাং, 0·1213 g ক্লোরিন আসে 0·2 g ধাতব ক্লোরাইড থেকে

∴ 0·2 g ধাতব ক্লোরাইডে ধাতুর পরিমাণ = (0·2 – 0·1213) = 0·0787 g

∴ ধাতুটির তুল্যাঙ্কভার = $\frac{0·0787\times35·5}{0·1213}$ = 23·03

যোজ্যতা = পাঃ গুরুত্ব/তুল্যাঙ্কভার = 23/23·03 = 1

ধাতুটির অক্সাইডের সংকেত = M_2O (M = ধাতুর চিহ্ন)

(3) একটি ধাতব ক্লোরাইডে ক্লোরিনের পরিমাণ 65˙6% ক্লোরাইড লবণটির বাষ্পঘনত্ব 81 হলে, ধাতুটির তুল্যাঙ্কভার, পারমাণবিক গুরুত্ব ও ক্লোরাইড লবণটির সংকেত নির্ণয় করো।

Ans. ধাতব ক্লোরাইডে ধাতুর পরিমাণ = (100 – 65˙6) = 34˙4%

∴ 65˙6 ভাগ ওজনের Cl_2 যুক্ত হয় 34˙4 ভাগ ওজনের ধাতুর সঙ্গে

সুতরাং ধাতুর তুল্যাঙ্কভার = $\frac{34.4 \times 35.5}{65.6} = 18.6$

ধরি, ধাতুটির যোজ্যতা = x, সুতরাং লবণটির সংকেত MCl_x (M = ধাতুর চিহ্ন)

ক্লোরাইড লবণটির আণবিক গুরুত্ব = $18.6x + 35.5x = 54.1x$

লবণটির বাষ্পঘনত্ব = 81 ∴ আণবিক গুরুত্ব = 81 × 2 = 162

∴ $54.1x = 162$ বা, $x = 162/54.1 = 3$. সুতরাং ধাতুটির যোজ্যতা = 3. পাঃ গুরুত্ব = 18˙6 × 3 = 55˙8, ক্লোরাইডের সংকেত MCl_3

(4) একটি মৌলের আপেক্ষিক তাপ 0˙031 ক্যালোরি/গ্রাম। 25˙9 গ্রাম মৌলের সাথে 4 গ্রাম অক্সিজেন যুক্ত হয়। মৌলটির পারমাণবিক গুরুত্ব নির্ণয় করো।

Ans. 4 g O_2 যুক্ত হয় 25˙9 g মৌলের সাথে। ∴ মৌলটির তুল্যাঙ্কভার = $\frac{25.9 \times 8}{4} = 51.8$

ডুলং-পেটিটের সূত্র থেকে মৌলের আনুমানিক পাঃ গুরুত্ব = 6˙4/আঃ তাপ = 6˙4/0˙031 = 206˙45

∴ মৌলের যোজ্যতা = $\frac{206.45}{51.8} = 3.9 \sim 4$ ∴ সঠিক পাঃ গুরুত্ব = তুল্যাঙ্কভার × যোজ্যতা = 51˙8 × 4 = 207˙2.

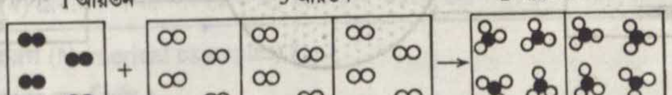
1.8. গে-লুসাকের গ্যাস-আয়তন সূত্র [Gay Lussac's laws of gaseous volume]

● গে-লুসাকের সূত্র : *একই চাপ ও উষ্ণতায়, দুই বা ততোধিক গ্যাসীয় পদার্থের রাসায়নিক বিক্রিয়ায়, বিক্রিয়ক গ্যাসগুলির আয়তন সরল অনুপাতে থাকে। বিক্রিয়ার ফলে উৎপন্ন পদার্থ যদি গ্যাসীয় হয়, তবে একই চাপ ও উষ্ণতায় উৎপন্ন গ্যাসের আয়তন বিক্রিয়ক গ্যাসের আয়তনের সঙ্গে সরল অনুপাতে থাকবে।*

বাস্তব পরীক্ষায় দেখা যায়, একই চাপ ও উষ্ণতায় এক আয়তন নাইট্রোজেন, তিন আয়তন হাইড্রোজেনের সঙ্গে বিক্রিয়া করে দুই আয়তন অ্যামোনিয়া উৎপন্ন করে। সুতরাং N_2, H_2 এবং NH_3-এর আয়তন অনুপাত 1 : 3 : 2—এটি একটি সরল অনুপাত।

$$N_2 + 3H_2 = 2NH_3$$

1 আয়তন 3 আয়তন 2 আয়তন



এইভাবে দেখা যায় যে, প্রতিক্ষেত্রেই বিক্রিয়ক এবং বিক্রিয়াজাত গ্যাসগুলির আয়তন অনুপাত সরল অনুপাত হয়। উৎপন্ন গ্যাসের আয়তন, বিক্রিয়ক গ্যাসগুলির মোট আয়তনের সমান নাও হতে পারে।

1.9. মোল সম্বন্ধে ধারণা [Mole concept]

অণু, পরমাণু, আয়ন, মূলক, ইলেকট্রন ইত্যাদি বস্তুকণাগুলির পরিমাণ প্রকাশ করার মৌলিক একক হল মোল (Mole)—চিহ্ন **mol.** এক গ্রাম-পরমাণু পরিমাণ কোনো মৌলের মধ্যে যত সংখ্যক পরমাণু উপস্থিত থাকে, অথবা এক গ্রাম-অণু পরিমাণ কোনো পদার্থে যত সংখ্যক অণু উপস্থিত থাকে, সেই সংখ্যাটিকে অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা (N_A) বলা হয়।

কার্বন-12 আইসোটোপের ঠিক 12 গ্রাম পরিমাণের মধ্যে যত সংখ্যক কার্বন পরমাণু বর্তমান থাকে, কোনো পদার্থের যে পরিমাণের মধ্যে ঠিক তত সংখ্যক ওর প্রাথমিক কণা (অণু পরমাণু, আয়ন, ইলেকট্রন ইত্যাদি) বর্তমান থাকে, সেই পরিমাণ পদার্থকে ওই পদার্থের এক মোল বলে।

অর্থাৎ, যে পরিমাণ পদার্থের মধ্যে অ্যাভোগাড্রো সংখ্যার (N_A) সমান সংখ্যক ওর প্রাথমিক কণা উপস্থিত থাকে, সেই পরিমাণ পদার্থকে ওই পদার্থের এক মোল বলে।

মোলের S.I. সংজ্ঞা ঃ কার্বন-12 আইসোটোপের ঠিক 0·012 কিলোগ্রামের মধ্যে যত সংখ্যক কার্বন-12 পরমাণু বর্তমান থাকে, কোনো পদার্থের যে পরিমাণের মধ্যে ঠিক তত সংখ্যক ওর প্রাথমিক কণা বর্তমান থাকে, সেই পরিমাণ পদার্থকে ওই পদার্থের এক মোল বলে।

এখন কার্বন-12 আইসোটোপের 12 গ্রামের মধ্যে অ্যাভোগাড্রো সংখ্যার (N_A) সমান সংখ্যক C-12 পরমাণু উপস্থিত থাকে, সুতরাং 1 মোল যে-কোনো পদার্থে সর্বদা সেই একই সংখ্যক ওর প্রাথমিক কণা উপস্থিত থাকবে। তাই 1 মোল অণুর মধ্যে যত সংখ্যক অণু থাকে, 1 মোল পরমাণু বা 1 মোল আয়নেও সেই একই (N_A) সংখ্যক পরমাণু বা আয়ন উপস্থিত থাকে। 1 ফ্যারাডে তড়িতের মধ্যে অ্যাভোগাড্রো সংখ্যার (N_A) সমান সংখ্যক ইলেকট্রন বর্তমান থাকে, **সুতরাং 1 ফ্যারাডে তড়িৎকে এক মোল ইলেকট্রন বলা হয়।**

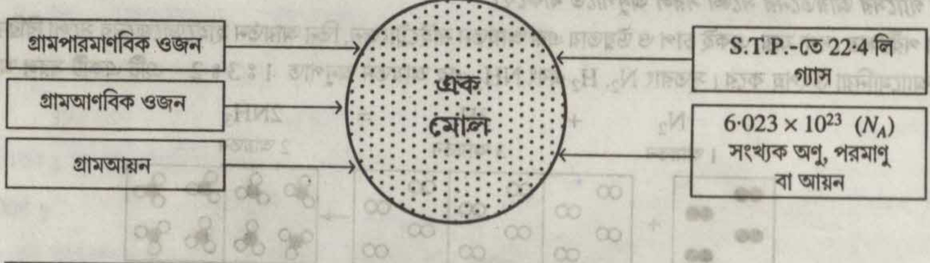
আবার S.T.P.-তে এক গ্রাম অণু পরিমাণ যে-কোনো গ্যাসের আয়তন 22·4 লিটার হয়। সুতরাং S.T.P.-তে এই আয়তনের যে-কোনো গ্যাসের মধ্যে অণুর সংখ্যা = $6{\cdot}023 \times 10^{23}$। সুতরাং S.T.P.-তে 22·4 লিটার আয়তনের যে-কোনো গ্যাসের পরিমাণকে এক মোল অণু গ্যাস বলে।

মোল একক হল কোনো পদার্থের প্রাথমিক কণা (অণু, পরমাণু, আয়ন, ইলেকট্রন, প্রোটন ইত্যাদি) গণনা করার একটি উপযুক্ত একক। এই একক ব্যবহার করার সময় সংশ্লিষ্ট কণাটির প্রকৃতি উল্লেখ করতে হবে। যেমন, 'এক মোল হাইড্রোজেন' বললে সঠিক কিছু বোঝায় না—এক্ষেত্রে নির্দিষ্টভাবে উল্লেখ করতে হবে যে এক মোল হাইড্রোজেন অণু, না পরমাণু, না অন্য কোনো কণা। যেমন, এক মোল হাইড্রোজেন অণু বলতে সেই পরিমাণ H_2 বোঝায় যার মধ্যে N_A সংখ্যক H_2 অণু বর্তমান থাকে।

পরমাণু বা অণুর ভরের চেয়ে বেশি ভরের কণার পরিমাপের ক্ষেত্রে মোল এককটি উপযুক্ত নয়।

কার্বনের পারমাণবিক গুরুত্ব = 12, কার্বনের গ্রাম-পরমাণু = 12 গ্রাম-কার্বন। এখন 12 গ্রাম কার্বনে, কার্বন পরমাণুর সংখ্যা = $6{\cdot}023 \times 10^{23}$। সুতরাং 12 গ্রাম কার্বনকে এক মোল পরমাণু কার্বন বলে। 6 গ্রাম কার্বনকে $^1/_2$ মোল পরমাণু কার্বন বলে। 3 গ্রাম কার্বন = $^1/_4$ মোল পরমাণু কার্বন।

মোল সংখ্যা = পদার্থের ভর/আণবিক ভর।



বর্তমানে রসায়ন বিজ্ঞানে, যে-কোনো পদার্থের উপাদানের সব একক-কণার ক্ষেত্রেই 'মোল' (mole) শব্দটি ব্যবহার করা হয়। কাজেই এক মোল ইলেকট্রন বলতে $6{\cdot}023 \times 10^{23}$ সংখ্যক ইলেকট্রনকে বুঝায়। সাধারণভাবে **এক মোল অণু, এক মোল পরমাণু বা এক মোল আয়ন বলতে যথাক্রমে অ্যাভোগাড্রো-সংখ্যক N_A অণু, পরমাণু বা আয়নের মোট ভর বুঝায়, যাকে গ্রামে প্রকাশ করলে অণুর ক্ষেত্রে আণবিক গুরুত্বের এবং পরমাণু বা আয়নের ক্ষেত্রে পারমাণবিক গুরুত্বের সমান হয়।**

[যেহেতু এক মোল দ্বারা বিশাল সংখ্যক প্রাথমিক কণাকে প্রকাশ করা হয় এবং যেহেতু মোল হল S.I. একক, তাই 'মোল' শব্দটির আগে 'মিলি', 'মাইক্রো' ইত্যাদি বসিয়ে কম পরিমাণ প্রাথমিক কণার ক্ষেত্রে ব্যবহার করা যায়। যেমন, 1 মিলি মোল = 10^{-3} মোল। 1 মিলি মোল H_2SO_4 = 98 মিলিগ্রাম = 98×10^{-3} গ্রাম H_2SO_4]

● **মোল ধারণার সুবিধা :** (i) বর্তমানে রাসায়নিক গণনায় 'মোল'কে একক রূপে ব্যবহার করে গণনা করা খুব সহজ হয়ে গেছে। কারণ, প্রত্যেক রাসায়নিক বিক্রিয়াতে বিক্রিয়ার বিক্রিয়ক পদার্থগুলি নির্দিষ্ট ওজন অনুপাতে পরস্পরের সঙ্গে বিক্রিয়া করে; অর্থাৎ বলা যায় যে, পদার্থগুলি নিজ-নিজ মোল-সংখ্যার অনুপাতে পরস্পরের সঙ্গে বিক্রিয়া করে। রাসায়নিক বিক্রিয়ায় বিক্রিয়ক এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থের প্রকৃত ভর দিয়ে গণনার পরিবর্তে মোল এককে গণনা করা সহজ হয়। যেমন, $2CO + O_2 = 2CO_2$

এই বিক্রিয়ায় 56 গ্রাম CO, 32 গ্রাম O_2-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে 88 গ্রাম CO_2 উৎপন্ন করে। এখন একে মোল একক রূপে প্রকাশ করলে.বলা যায়—2 মোল-অণু CO, 1 মোল অণু O_2-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে 2 মোল-অণু CO_2 উৎপন্ন করে।

(ii) এছাড়া কোনো অণু, পরমাণু বা আয়নের প্রকৃত ভর এই মোল সংখ্যা দ্বারা নির্ণয় করা যায়।

(iii) একটি ইলেকট্রনের চার্জও মোল দ্বারা নির্ণয় করা যায়।

(iv) দ্রবণে অণুর বা আয়নের সংখ্যা নির্ণয়ে মোল একক ব্যবহার করা হয়। যদি একটি রাসায়নিক পদার্থ A-এর এক মোল-অণু, অপর একটি রাসায়নিক পদার্থ B-এর 2 মোল-অণুর সঙ্গে বিক্রিয়া করে, তাহলে বলা যায় A-এর একটি অণু, B-এর 2টি অণুর সঙ্গে বিক্রিয়া করে।

'মোল' কথাটি ব্যবহার করার সময় সব সময় পদার্থের প্রাথমিক কণার (অণু, পরমাণু বা আয়ন) কথা উল্লেখ করতে হয়। যেমন—

32 গ্রাম O_2 = এক মোল-অণু অক্সিজেন
16 গ্রাম O = এক মোল-পরমাণু অক্সিজেন
46 গ্রাম Na = 46/23 = 2 মোল-পরমাণু Na
60 গ্রাম কার্বন = 60/12 = 5 মোল-অণু কার্বন
55 গ্রাম CO_2 = 55/44 = 1·25 মোল-অণু CO_2
2·3 গ্রাম Na^+ = 2·3/23 = 0·1 মোল-আয়ন Na^+

(1) মোল সংখ্যাকে আণবিক ভর দিয়ে গুণ করলে পদার্থের ভর পাওয়া যায়।
(2) পদার্থের ভরকে আণবিক ভর দিয়ে ভাগ করলে মোল সংখ্যা পাওয়া যায়।
(3) মোল সংখ্যাকে N_A দ্বারা গুণ করলে প্রাথমিক কণার সংখ্যা পাওয়া যায়।
(4) প্রাথমিক কণার সংখ্যাকে N_A দ্বারা ভাগ করলে মোল সংখ্যা পাওয়া যায়।

● **গাণিতিক উদাহরণ (Numerical examples) :**

[A] 1-টি অণু বা পরমাণুর ভর নির্ণয় :

(1) ***3 গ্রাম মোল O_2-এর মধ্যে অণুর সংখ্যা নির্ণয় করো এবং 1 টি অক্সিজেন অণুর ভর গ্রামে প্রকাশ করো।***

Ans. 1 মোল O_2-এর মধ্যে অণুর সংখ্যা = $6·023 \times 10^{23}$

∴ 3 মোল O_2 এর মধ্যে অণুর সংখ্যা = $6·023 \times 10^{23} \times 3 = 18·069 \times 10^{23}$

3 গ্রাম মোল O_2 এর ওজন = $3 \times 32 = 96$ g

$3 \times 6·023 \times 10^{23}$ সংখ্যক O_2 অণুর ওজন = 96 g

1টি O_2 অণুর ওজন = $\frac{96}{6·023 \times 10^{23} \times 3}$ g = $5·313 \times 10^{-23}$ g

(2) ***জলের ঘনত্ব 1গ্রাম/লিটার হলে 1 লিটার জলে অণুর সংখ্যা এবং জলের 1টি অণুর ওজন নির্ণয় করো।***

Ans. 1 লিটার জলের ওজন = $1000 \times 1 = 1000$ g। 1 গ্রাম অণু H_2O = 18 g জল।

18 g জলে অণুর সংখ্যা = $6·023 \times 10^{23}$

1000 g " " " = $\frac{6·023 \times 10^{23} \times 1000}{18} = 3·346 \times 10^{25}$

1 টি অণুর ওজন = $18/6·023 \times 10^{23} = 2·99 \times 10^{-23}$ g

(3) $0°C$ উষ্ণতায় এবং 2 atm চাপে 350 ml আয়তনের একটি দ্বি-পরমাণুক গ্যাসের ভর 1 g হলে 1 টি পরমাণুর ভর কত হবে?

Ans. ধরি S.T.P.-তে ওই আয়তন গ্যাসের আয়তন = V ml সুতরাং, $\frac{1 \times V}{273} = \frac{2 \times 350}{273}$ বা, $V = 700$ ml

S.T.P.-তে 700 ml গ্যাসের ভর = 1 g

S.T.P.-তে 22400 ml গ্যাসের ভর = $\frac{22400}{700} = 32$ g = 1 মোল গ্যাস

অর্থাৎ গ্যাসটির $6 \cdot 023 \times 10^{23}$ সংখ্যক অণুর ভর = 32 g

সুতরাং 1টি অণুর ভর = $\frac{32}{6 \cdot 023 \times 10^{23}}$ g যেহেতু গ্যাসের 1টি অণুতে 2টি পরমাণু থাকে।

$\therefore$ 1টি পরমাণুর ভর = $\frac{32}{6 \cdot 023 \times 10^{23} \times 2} = 2 \cdot 656 \times 10^{-23}$ g

[B] অণু বা পরমাণুর সংখ্যা এবং মোলসংখ্যা নির্ণয় ঃ

(4) হিমোগ্লোবিনে $0 \cdot 335\%$ Fe আছে। Fe-এর পারমাণবিক গুরুত্ব 56 এবং হিমোগ্লোবিনের আণবিক গুরুত্ব $1 \cdot 67 \times 10^4$ হলে হিমোগ্লোবিনের একটি অণুর মধ্যে Fe পরমাণুর সংখ্যা কত?

Ans. 100 g হিমোগ্লোবিনে Fe-এর পরিমাণ = $0 \cdot 335$ g

$1 \cdot 67 \times 10^4$ g হিমোগ্লোবিনে Fe-এর পরিমাণ = $\frac{0 \cdot 335 \times 1 \cdot 67 \times 10^4}{100} = 55 \cdot 9$ g

সুতরাং $1 \cdot 67 \times 10^4$ g হিমোগ্লোবিনে Fe পরমাণুর সংখ্যা = $\frac{55 \cdot 9}{56} = 1$ [Fe-এর গ্রাম-পরমাণু = 56 g]

অর্থাৎ হিমোগ্লোবিনের প্রতি অণুতে 1টি করে Fe পরমাণু আছে।

(5) $4°C$ উষ্ণতায় 1 mm ব্যাসার্ধের গোলাকৃতি 1 ফোঁটা জলে কতগুলি H এবং O পরমাণু থাকে?

Ans. 1 mm বা $0 \cdot 1$ cm ব্যাসার্ধের 1 ফোঁটা জলের আয়তন $4/3\ \pi r^3 = 4/3 \times 3 \cdot 14\ (0 \cdot 1)^3 = 4 \cdot 2 \times 10^{-3}$ cm^3

$4°C$ উষ্ণতায় জলের ঘনত্ব = 1g/cm^3 সুতরাং 1 ফোঁটা জলের ভর = $4 \cdot 2 \times 10^{-3}$ g

জলের আণবিক গুরুত্ব = 18. সুতরাং এক মোল জল = 18 g জল

18 g জলে অণুর সংখ্যা = $6 \cdot 023 \times 10^{23}$

$4 \cdot 2 \times 10^{-3}$ g জলে অণুর সংখ্যা = $\frac{6 \cdot 023 \times 10^{23} \times 4 \cdot 2 \times 10^{-3}}{18} = 1 \cdot 4 \times 10^{20}$

জলের 1টি অণু 2টি H পরমাণু ও 1টি O দ্বারা গঠিত।

$\therefore$ O পরমাণুর সংখ্যা = $\mathbf{1 \cdot 4 \times 10^{20}}$ এবং H পরমাণুর সংখ্যা = $2 \times 1 \cdot 4 \times 10^{20} = \mathbf{2 \cdot 8 \times 10^{20}}$

(6) নীচের গুলির মধ্যে মোলের সংখ্যা নির্ণয় করো—

(i) 6023 সংখ্যক O_2 অণু, (ii) 9 g Al, (iii) $44 \cdot 8$ লিটার CO_2 (S.T.P.-তে)

Ans. (i) $6 \cdot 023 \times 10^{23}$ সংখ্যক O_2 অণু = 1 মোল অণু O_2

সুতরাং 6023 সংখ্যক O_2 অণু = $\frac{6023}{6 \cdot 023 \times 10^{23}} = 10^{-20}$ মোল অণু O_2

(ii) Al এর আণবিক গুরুত্ব = 27, $\therefore$ 27 g Al = 1 মোল অণু Al, সুতরাং 9 g Al = 9/27 = 1/3 মোল Al

(iii) S.T.P.-তে $22 \cdot 4$ লি আয়তনের গ্যাস = 1 মোল গ্যাস

সুতরাং S.T.P.-তে $22 \cdot 4$ লি CO_2 গ্যাস = 1 মোল CO_2

সুতরাং S.T.P.-তে $44 \cdot 8$ লি CO_2 গ্যাস = $\frac{44 \cdot 8}{22 \cdot 4} = 2$ মোল CO_2

(7) সমভরের দুটি পদার্থ A এবং B এর আণবিক গুরুত্বের অনুপাত 2 ঃ 3 (i) A এবং B এর সমভরে অণুর সংখ্যার অনুপাত কত? (ii) পদার্থ দুটিকে বাষ্পীভূত করলে একই চাপ ও উষ্ণতায় সমভরের A এবং B পদার্থটির আয়তন অনুপাত কত হবে?

Ans. (i) ধরি A ও B এর আণবিক গুরুত্ব যথাক্রমে $2x$ এবং $3x$

$2x$ g A-এর মধ্যে অণুর সংখ্যা = N (N = অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা)

x g A-এর মধ্যে অণুর সংখ্যা = $\frac{Nx}{2x} = N/2$

$3x$ g B-এর মধ্যে অণুর সংখ্যা = N, $\therefore$ x g B এর মধ্যে অণুর সংখ্যা = $\frac{Nx}{3x} = N/3$

সুতরাং A ও B-এর সমওজনে অণুর সংখ্যার অনুপাত $N/2 : N/3 = 3 : 2$

(ii) $2x$ g A-এর আয়তন S.T.P.-তে 22·4 লি

x g A-এর আয়তন S.T.P.-তে $\frac{22.4 \times x}{2x} = \frac{22.4}{2}$ লি

$3x$ g B-এর আয়তন S.T.P.-তে 22·4 লি

$\therefore$ x g B-এর আয়তন S.T.P.-তে $\frac{22.4 \times x}{3x} = \frac{22.4}{3}$ লি

সুতরাং একই চাপ ও উষ্ণতায় সমভরের A ও B এর আয়তন অনুপাত = $\frac{22.4}{2} : \frac{22.4}{3} = \mathbf{3 : 2}$

(8) 10^{-3} mm পারদ চাপে 303K উষ্ণতায় 2 লি আয়তনের একটি কাচ-পাত্রে সম আণবিক অনুপাতে N_2 এবং জলীয় বাষ্প আছে। (i) পাত্রে উপস্থিত N_2 ও জলীয় বাষ্পের মোট মোল সংখ্যা কত? (ii) গ্যাস মিশ্রণটির মোট ভর কত? (iii) মিশ্রণটিকে 50°C উষ্ণতায় শীতল করলে গ্যাস মিশ্রণের মোট ভর কত হবে?

Ans. (i) ধরি 303 K উষ্ণতা এবং 10^{-3} mm চাপে 2 লি পাত্রে n মোল N_2 এবং n মোল জলীয় বাষ্প আছে। পাত্রে উপস্থিত মোট মোল সংখ্যা = $n + n = 2n$ এবং মোট চাপ = $10^{-3}/760$ atm, আয়তন $V = 2$ লি। মানগুলি গ্যাস সমীকরণে $PV = nRT$ তে বসিয়ে পাই, $\frac{10^{-3}}{760} \times 2 = 2n \times 0.082 \times 303$ বা, $n = \frac{2 \times 10^{-3}}{760 \times 2 \times 0.082 \times 303} = 5.29 \times 10^{-8}$ মোল

অর্থাৎ N_2 এর মোল সংখ্যা = 5.29×10^{-8} এবং জলীয়বাষ্পের মোল সংখ্যা = 5.29×10^{-8}

$\therefore$ মোট মোল সংখ্যা = $5.29 \times 10^{-8} + 5.29 \times 10^{-8} = \mathbf{10.58 \times 10^{-8}}$ **মোল।**

(ii) 5.29×10^{-8} মোল N_2 এর ভর = $5.29 \times 10^{-8} \times 28$ g

5.29×10^{-8} মোল H_2O-এর ভর = $5.29 \times 10^{-8} \times 18$ g

মোট ভর = $5.29 \times 10^{-8} (28 + 18) = 243.34 \times 10^{-8}$ g

মিশ্রণের উষ্ণতা 50°C এ নামিয়ে আনলে জলীয় বাষ্প তরলে পরিণত হবে। পাত্রে গ্যাস রূপে পড়ে থাকবে N_2 যার ভর $5.29 \times 10^{-8} \times 28$ g।

(9) 1 মিলিমোল অ্যামোনিয়ার ভর কত? এর মধ্যে অ্যামোনিয়ায় কতগুলি অণু উপস্থিত আছে?

Ans. অ্যামোনিয়ার আণবিক গুরুত্ব = 17; সুতরাং 1 গ্রাম অণু অ্যামোনিয়া = 17 গ্রাম অ্যামোনিয়া।

$\therefore$ 1 মিলিমোল অ্যামোনিয়ার ভর = $\frac{17}{1000}$ g = 17×10^{-3} g,

17 গ্রাম NH_3-এর মধ্যে উপস্থিত অণুর সংখ্যা = 6.023×10^{23}

$\therefore$ $\frac{17}{1000}$ গ্রাম অ্যামোনিয়ার মধ্যে উপস্থিত অণুর সংখ্যা = $\frac{6.023 \times 10^{23}}{1000} = \mathbf{6.023 \times 10^{20}}$

(10) জলের ঘনত্ব 1 g cm^{-3} হলে, জলের একটি অণুর আয়তন নির্ণয় করো। জলের অণুটি গোলক আকারের হলে ওর ব্যাস কত হবে?

Ans. 1 মোল H_2O = 18 g = 18 cm^3 (যেহেতু জলের ঘনত্ব = 1 g cm^{-3})

= 6.023×10^{23} সংখ্যক জলের অণু।

সুতরাং 6.023×10^{23} সংখ্যক জলের অণুর আয়তন = 18 cm^3

1টি জলের অণুর আয়তন = $18/6.023 \times 10^{23} = 2.989 \times 10^{-23}$ cm^3

গোলক আকৃতির জলের অণুর ব্যাসার্ধ = R ধরি, তাহলে অণুটির আয়তন = $4/3\pi R^3$

সুতরাং $4/3\ \pi R^3 = 2.989 \times 10^{-23}$ cm^3 বা, $R^3 = 7.133 \times 10^{-24}$ বা, $R = (7.133)^{1/3} \times 10^{-8}$ cm

বা, $R = 1.925 \times 10^{-8}$ cm $\therefore$ ব্যাস = $2 \times 1.925 \times 10^{-8}$ cm = 3.85×10^{-8} cm

1.12. রাসায়নিক গণনা [Chemical calculations]

[A] ওজন-ওজন সংক্রান্ত (Weight to weight calculation)ঃ

রাসায়নিক গণনা করার সময় কয়েকটি নিয়ম জানা বিশেষ প্রয়োজন—

(i) রাসায়নিক বিক্রিয়াটির সমতাযুক্ত সমীকরণটি প্রথমে লিখে, প্রতি সংকেতের নীচে বিক্রিয়ক ও বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলির আণবিক ওজন লিখতে হবে।

(ii) সমীকরণে প্রাপ্ত ওজনগুলি থেকে এবং অঙ্কে প্রদত্ত 'ডাটা' (data) থেকে অজানা পদার্থের ওজন নির্ণয় করতে হবে। যেমন,

$$\underset{100 \text{ গ্রাম}}{CaCO_3} + \underset{2\times 36{\cdot}5 \text{ গ্রাম}}{2HCl} = \underset{111 \text{ গ্রাম}}{CaCl_2} + \underset{\substack{44 \text{ গ্রাম বা} \\ \text{S.T.P.-তে } 22{\cdot}4 \text{ লি}}}{CO_2} + \underset{18 \text{ গ্রাম}}{H_2O}$$

(iii) গণনার সময় সবক্ষেত্রে এক রকম একক ব্যবহার করতে হবে।

(iv) এছাড়াও রাসায়নিক গণনার সময় নীচের বিষয়গুলি মনে রাখা একান্ত দরকার।

(*a*) পদার্থের ঘনত্ব = ভর/আয়তন (*b*) C.G.S. পদ্ধতিতে আপেক্ষিক গুরুত্ব = পদার্থের ঘনত্ব, (*c*) S.T.P.-তে 1 cc হাইড্রোজেনের ওজন = 0·000089 গ্রাম, (*d*) একটি কঠিনের বিশুদ্ধতা = 80% বলতে এই বোঝায় যে 100 ভাগ ওজনের কঠিনে, 80 ভাগ ওজনের বিশুদ্ধ পদার্থ আছে। (*e*) গ্যাসীয় পদার্থের শতকরা হিসাব বেশির ভাগ ক্ষেত্রে আয়তন হিসাবে ধরা হয়। (*f*) তরল পদার্থের ক্ষেত্রে শতকরা হিসাব দুই রকম ধরা হয়। যেমন 100 ভাগ ওজনের তরলে বা দ্রবণে যত ভাগ ওজনের পদার্থটি আছে বা 100 cc আয়তনের তরলে বা দ্রবণে যত গ্রাম পদার্থ আছে। (*g*) মোল সংখ্যা = ওজন (গ্রামে)/গ্রাম আণবিক ওজন।

(1) 35 গ্রাম পটাশিয়াম ক্লোরেটকে উত্তপ্ত করলে যে পরিমাণ অক্সিজেন পাওয়া যায়, সেই পরিমাণ অক্সিজেন পেতে হলে কত পরিমাণ (a) পটাশিয়াম নাইট্রেট, (b) মারকিউরিক অক্সাইড উত্তপ্ত করতে হবে? (Hg = 200)

Ans. $\underset{245}{2KClO_3} = 2KCl + \underset{96}{3O_2}\uparrow$

245 g $KClO_3$ থেকে 96 g O_2 পাওয়া যায়।

$\therefore$ 35 g $KClO_3$ থেকে $\frac{96\times 35}{245}$ g O_2 বা 13·71 g O_2 পাওয়া যায়।

(*a*) $\underset{202}{2KNO_3} = 2KNO_2 + \underset{32}{O_2}\uparrow$

32 g O_2 পাওয়া যায় 202 g KNO_3 থেকে,

13·71 g O_2 পাওয়া যায় $\frac{202\times 13{\cdot}71}{32}$ = **86·5 g KNO_3** থেকে।

(*b*) $\underset{432}{2HgO} = 2Hg + \underset{32}{O_2}$

32 g O_2 পাওয়া যায় 432 g HgO থেকে,

13·71 g O_2 পাওয়া যায় $\frac{432\times 13{\cdot}71}{32}$ = **185·08 g HgO** থেকে।

(2) 13 গ্রাম Zn-এর সঙ্গে লঘু H_2SO_4-এর বিক্রিয়ায় যত পরিমাণ H_2 নির্গত হয় সেই H_2-কে পৃথকভাবে (i) 10 গ্রাম এবং (ii) 20 গ্রাম উত্তপ্ত CuO-এর উপর দিয়ে চালনা করা হল। প্রতি ক্ষেত্রে অবশেষের উপাদান কী হবে? (Zn = 65, Cu = 63)

Ans. বিক্রিয়া ঃ $\underset{65\text{ g}}{Zn} + H_2SO_4 = ZnSO_4 + \underset{2\text{ g}}{H_2}$ $\underset{79\text{ g}}{CuO} + \underset{2\text{ g}}{H_2} = \underset{63\text{ g}}{Cu} + H_2O$

(*a*) 65 g Zn থেকে 2 g H_2 পাওয়া যায়।

13 g Zn থেকে $\frac{2\times 13}{65}$ = 0·4 g H_2 পাওয়া যায়।

(*b*) 2 g H_2 বিজারিত করে 79 g CuO-কে।

0·4 " " " " $\frac{79\times 0{\cdot}4}{2}$ = 15·8 g CuO-কে।

(*c*) 79 g CuO বিজারিত হয়ে 63 g Cu উৎপন্ন করে।

15·8 " " " " $\frac{63\times15\cdot8}{79}=12\cdot6$ g Cu উৎপন্ন করে।

(i) দেখা যায় 13 গ্রাম Zn-এর সঙ্গে H_2SO_4-এর বিক্রিয়ায় নির্গত 0·4 g H_2, 15·8 g CuO-কে বিজারিত করতে সক্ষম। সুতরাং প্রথম ক্ষেত্রে প্রদত্ত 10 g CuO-এর সবটুকু বিজারিত হবে। সুতরাং 10 g CuO থেকে কত গ্রাম Cu পাওয়া যায় নির্ণয় করা হল।

79 g CuO থেকে Cu পাওয়া যায় 63 g।

10 " " " " " " $\frac{63\times10}{79}$ = **7·97 g Cu**

(ii) উপরের সমীকরণ থেকে পাওয়া যায় যে,

0·4 g H_2, 15·8 g CuO-কে বিজারিত ক'রে 12·6 g Cu উৎপন্ন করবে।

কিন্তু দ্বিতীয় ক্ষেত্রে CuO নেওয়া হয়েছে 20 g। সুতরাং অপরিবর্তিত CuO = (20 – 15·8) = 4·2 g।

∴ বিক্রিয়া শেষে প্রথম ক্ষেত্রে অবশেষের ওজন = 7·97 g Cu, দ্বিতীয় ক্ষেত্রে অবশেষের ওজন = (অপরিবর্তিত CuO + উৎপন্ন Cu) = (4·2 + 12·6) = **16·8 g**

(3) সোডিয়াম ক্লোরাইড এবং সোডিয়াম ব্রোমাইডের একটি মিশ্রণের (0·1809 গ্রাম) সঙ্গে সিলভার নাইট্রেট দ্রবণের বিক্রিয়াতে 0·3715 গ্রাম অধঃক্ষেপ পাওয়া গেল। ওই মিশ্রণে সোডিয়াম ক্লোরাইড ও সোডিয়াম ব্রোমাইডের পরিমাণ নির্ণয় করো। [Na = 23, Cl = 35·5, Br = 79·9, Ag = 107·87]

Ans. ধরি, মিশ্রণে NaCl-এর পরিমাণ = x g। ∴ NaBr-এর পরিমাণ = $(0\cdot1809-x)$ g

(i) $\underset{58\cdot5}{NaCl} + AgNO_3 = NaNO_3 + \underset{143\cdot37}{AgCl}$

58·5 g NaCl থেকে 143·37 g AgCl পাওয়া যায়।

x " " " $\frac{143\cdot37x}{58\cdot5}=2\cdot4507x$ g AgCl পাওয়া যায়।

(ii) $\underset{102\cdot9}{NaBr} + AgNO_3 = NaNO_3 + \underset{187\cdot8}{AgBr}$

102·9 g NaBr থেকে 187·8 g AgBr পাওয়া যায়।

$(0\cdot1809-x)$ " " $\frac{187\cdot8(0\cdot1809-x)}{102\cdot9}=1\cdot825\,(0\cdot1809-x)$ g AgBr পাওয়া যায়।

প্রশ্নানুসারে—$2\cdot4507x+1\cdot825\,(0\cdot1809-x)=0\cdot3715$

বা, $2\cdot4507x+0\cdot3301-1\cdot825x=0\cdot3715$ বা, $0\cdot6257x=0\cdot0414$ বা, $x=0\cdot06616$

∴ NaCl-এর পরিমাণ = **0·06616** g এবং NaBr-এর পরিমাণ = 0·1809 – 0·06616 = **0·1147** g।

(4) অতিরিক্ত গাঢ় HCl-এর সঙ্গে 90·625 গ্রাম পাইরোলুসাইটের বিক্রিয়ায় যে পরিমাণ Cl_2 নির্গত হয়, 20 গ্রাম Mg-এর সঙ্গে লঘু HCl-এর বিক্রিয়ায় উৎপন্ন H_2-এর সঙ্গে সেই পরিমাণ Cl_2 সম্পূর্ণভাবে যুক্ত হয়। পাইরোলুসাইটে শতকরা কী পরিমাণ MnO_2 আছে? (Mn = 55)

Ans. $4HCl+\underset{87}{MnO_2}=MnCl_2+\underset{71}{Cl_2}+2H_2O$, $\underset{24}{Mg}+2HCl=MgCl_2+\underset{2}{H_2}$,

$\underset{2}{H_2}+\underset{71}{Cl_2}=2HCl$

উপরের সমীকরণে দেখা যায়, 24 g Mg-এর সঙ্গে HCl-এর বিক্রিয়ায় যে পরিমাণ H_2 নির্গত হয় (2 g), তার সঙ্গে সম্পূর্ণ বিক্রিয়া করার জন্য প্রয়োজনীয় Cl_2 (71 g) পাওয়া যায় 87 g MnO_2 বিক্রিয়ার ফলে।

∴ 24 g Mg ব্যবহার করা হলে MnO_2-এর প্রয়োজন 87 g

20 g Mg ব্যবহার করা হলে MnO_2-এর প্রয়োজন $\frac{87\times20}{24}=72\cdot5$ g

অতএব বোঝা গেল, 90·625 g পাইরোলুসাইটে MnO_2-এর পরিমাণ 72·5 g

∴ 90·625 g পাইরোলুসাইটে MnO_2-এর পরিমাণ 72·5 g

$\therefore$ 100 g পাইরোলুসাইটে MnO_2-এর পরিমাণ $\frac{72.5\times100}{90.625} = 80$ g

$\therefore$ পাইরোলুসাইটে **80% MnO_2** আছে।

(5) FeO এবং Fe_3O_4 একটি মিশ্রণকে বায়ুতে উত্তপ্ত করে ওজন স্থির হওয়ার পর দেখা গেল মিশ্রণের ওজন 5% বেড়েছে। উত্তপ্ত করার আগে FeO এবং Fe_3O_4-এর শতকরা পরিমাণ নির্ণয় করো। (Fe = 56, O = 16)

Ans. ধরা যাক, মিশ্রণটির ওজন = 100 g এবং FeO-এর ওজন = x g। $\therefore$ মিশ্রণে Fe_3O_4-এর পরিমাণ = $(100 - x)$ g।

মিশ্রণের মধ্যে FeO এবং Fe_3O_4 আছে। Fe_3O_4 একটি মিশ্র অক্সাইড। এই অক্সাইড FeO + Fe_2O_3-এর মিশ্রণ। মিশ্রণটিকে বায়ুতে উত্তপ্ত করলে শুধু FeO বায়ুর O_2 দ্বারা জারিত হয়ে Fe_2O_3-তে পরিণত হবে, কিন্তু মিশ্রণের Fe_2O_3-এর কোনো পরিবর্তন হবে না।

(i) $\underset{4\times72\text{ g}}{4FeO} + O_2 = \underset{2\times160\text{ g}}{2Fe_2O_3}$

4×72 g FeO জারিত হয়ে 2×160 g Fe_2O_3 উৎপন্ন করে।

$\therefore$ x " " " " $\frac{2\times160\times x}{4\times72} = \frac{160x}{144}$ g Fe_2O_3 উৎপন্ন করে।

(ii) $4(FeO, Fe_2O_3) + O_2 = 2Fe_2O_3 + 4Fe_2O_3$

বা, $\underset{4\times232\text{ g}}{4Fe_3O_4} + O_2 = \underset{6\times160\text{ g}}{6Fe_2O_3}$

4×232 g Fe_3O_4 থেকে 6 × 160 g Fe_2O_3 পাওয়া যায়।

$\therefore$ $(100 - x)$ " " $\frac{6\times160(100-x)}{4\times232}$ " " " "

বলা হয়েছে বায়ুতে উত্তপ্ত করার ফলে মিশ্রণের ওজন 5% বেড়ে 105 g হয়েছে।

সুতরাং $\frac{160x}{144}+\frac{6\times160(100-x)}{4\times232} = 105$ বা, $\frac{10x}{9}+\frac{30(100-x)}{29} = 105$ বা, $x = 20.25$

সুতরাং মিশ্রণে FeO-এর শতকরা পরিমাণ = **20.25** এবং Fe_3O_4-এর শতকরা পরিমাণ = (100 – 20.25) = **79.75**

(6) Na_2CO_3 এবং $NaHCO_3$-এর একটি মিশ্রণের 10.72 গ্রাম নিয়ে স্থির ওজনে না আসা পর্যন্ত উত্তপ্ত করা হল। বিক্রিয়া শেষে দেখা গেল মিশ্রণটির ওজন 2.48 গ্রাম কমে গেছে। (i) অবশেষটির মধ্যে কী বর্তমান আছে? (ii) মিশ্রণটির মধ্যে Na_2CO_3 এবং $NaHCO_3$-এর পরিমাণ কী ছিল? (iii) প্রাপ্ত অবশেষটির জলীয় দ্রবণে $BaCl_2$ দ্রবণ যোগ করলে যে সাদা অধঃক্ষেপ পড়ে তার পরিমাণ নির্ণয় করো। (iv) অধঃক্ষেপটিকে দ্রবীভূত করতে কী পরিমাণ HCl-এর দরকার?

Ans. *(i)* ধরি, মিশ্রণে $NaHCO_3$-এর পরিমাণ = x g $\therefore$ Na_2CO_3-এর পরিমাণ = $(10.72 - x)$g।

Na_2CO_3 এবং $NaHCO_3$-এর মিশ্রণকে উত্তপ্ত করলে Na_2CO_3-এর কোনো পরিবর্তন হয় না। কিন্তু $NaHCO_3$ বিয়োজিত হয়ে Na_2CO_3-তে পরিণত হয় এবং CO_2 বেরিয়ে যায়। সুতরাং অবশেষরূপে শুধু Na_2CO_3 পড়ে থাকবে।

$\underset{2(23+1+12+48) = 168}{2NaHCO_3} = \underset{2\times23+12+48 = 106}{Na_2CO_3} + CO_2 + H_2O$

সুতরাং, 168 g $NaHCO_3$ উৎপন্ন করে 106 g Na_2CO_3

$\therefore$ x " " " " $\frac{106x}{168} = 0.6309x$ g Na_2CO_3

দেওয়া আছে মিশ্রণটি 2.48 g ওজন হারায়।

$\therefore$ অবশেষটির (Na_2CO_3-এর) ওজন = (10.72 – 2.48) = 8.24 g

সুতরাং, $0.6309x + (10.72 - x) = 8.24$, বা, $0.6309x - x = 8.24 - 10.72$, বা, $x = 6.72$

(ii) $\therefore$ মিশ্রণে $NaHCO_3$-এর পরিমাণ 6.72

সুতরাং Na_2CO_3-এর পরিমাণ = 10.72 – 6.72 = 4 g

(*iii*) অবশেষ Na_2CO_3-এর জলীয় দ্রবণে $BaCl_2$ দ্রবণ যোগ করলে অদ্রাব্য $BaCO_3$-এর সাদা অধঃক্ষেপ পড়ে।

$$\underset{106}{Na_2CO_3} + BaCl_2 = 2NaCl + \underset{137{\cdot}3+12+48 = 197{\cdot}3}{BaCO_3 \downarrow}$$

106 g Na_2CO_3 দ্বারা 197·3 g $BaCO_3$ অধঃক্ষিপ্ত হয়।

8·24 " " " $\frac{197{\cdot}3 \times 8{\cdot}24}{106} = 15{\cdot}34$ g $BaCO_3$ অধঃক্ষিপ্ত হয়।

(*iv*) $$\underset{197{\cdot}3}{BaCO_3} + \underset{73}{2HCl} = BaCl_2 + CO_2 + H_2O$$

197·3 g $BaCO_3$-কে দ্রবীভূত করতে 73 g HCl দরকার

∴ 15·34 " " " " $\frac{73 \times 15{\cdot}34}{197{\cdot}3} = 5{\cdot}675$ g HCl

(7) লেড নাইট্রেট এবং সোডিয়াম নাইট্রেটের একটি মিশ্রণের 5 গ্রাম নিয়ে 600°C নীচে উত্তপ্ত করা হল যতক্ষণ পর্যন্ত না অবশেষের ওজন স্থির হয়। এর ফলে যদি মিশ্রণের ওজন 28% কমে যায় তা হলে মিশ্রণটিতে লেড নাইট্রেট এবং সোডিয়াম নাইট্রেটের পরিমাণ কত?

Ans. ধরি, $NaNO_3$-এর ওজন = x g, সুতরাং $Pb(NO_3)_2$-এর ওজন = $(5 - x)$ g

তাপ বিয়োজনের সমীকরণ—

$$\underset{170\ g}{2NaNO_3} = 2NaNO_2 + \underset{32\ g}{O_2} \qquad \underset{662\ g}{2Pb(NO_3)_2} = 2PbO + \underset{184\ g}{4NO_2} + \underset{32\ g}{O_2}$$

170 g $NaNO_3$ দেয় 32 g O_2

x " " $\frac{32x}{170}$ g O_2

আবার, 662 g $Pb(NO_3)_2$ দেয় (184 + 32) = 216 g গ্যাস ($NO_2 + O_2$)

∴ $(5 - x)$ " " $\frac{216(5-x)}{662}$ g "

100 g মিশ্রণে ওজন কমে 28 g

∴ 5 " " " $\frac{28 \times 5}{100} = 1{\cdot}4$ g

দেওয়া আছে, $\frac{32x}{170} + \frac{216(5-x)}{662} = 1{\cdot}4$ বা, $32x \times 662 + 216\,(5 - x) \times 170 = 1{\cdot}4 \times 170 \times 662$

বা, $1553x = 26044$ বা, $x = 1{\cdot}676$

সুতরাং $NaNO_3$-এর ওজন = **1·676 g** এবং $Pb(NO_3)_2$-এর ওজন = (5 – 1·676) = **3·324 g**

(8) একটি মিশ্রণে NaCl এবং অপর একটি অজানা ক্লোরাইড MCl আছে। এই মিশ্রণের 1 গ্রাম জলে দ্রবীভূত করে অতিরিক্ত $AgNO_3$ দ্রবণ যোগ করায় 2·567 গ্রাম সাদা অধঃক্ষেপ পাওয়া গেল। মূল মিশ্রণের 1 গ্রামকে 300°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত করার ফলে নির্গত বাষ্পকে $AgNO_3$ দ্রবণে শোষিত করায় 1·341 গ্রাম সাদা অধঃক্ষেপ পাওয়া গেল। অজানা ক্লোরাইডটির আণবিক গুরুত্ব নির্ণয় করো।

Ans. ধরি, অজানা ক্লোরাইড MCl-এর আণবিক গুরুত্ব = a এবং মিশ্রণে MCl-এর পরিমাণ = x g

∴ NaCl-এর ওজন = $(1 - x)$ g

বিক্রিয়ার সমীকরণ—

$$\underset{58{\cdot}5\ g}{NaCl} + AgNO_3 = \underset{143{\cdot}5\ g}{AgCl} + NaNO_3 \qquad \underset{a\ g}{MCl} + AgNO_3 = \underset{143{\cdot}5\ g}{AgCl} + MNO_3$$

এখন 58·5 g NaCl দেয় 143·5 g AgCl

∴ $(1 - x)$ " " " $\frac{143{\cdot}5(1-x)}{58{\cdot}5}$ g AgCl

আবার, a g MCl দেয় 143·5 g AgCl

x " " " $\frac{143{\cdot}5x}{a}$ g AgCl

AgCl-এর মোট ওজন = $\left[\frac{143{\cdot}5\,(1-x)}{58{\cdot}5} + \frac{143{\cdot}5x}{a}\right]$ g ; দেওয়া আছে $\frac{143{\cdot}5(1-x)}{58{\cdot}5} + \frac{143{\cdot}5x}{a} = 2{\cdot}567$ ... ... (1)

মিশ্রণটিকে উত্তপ্ত করায় যে গ্যাস নির্গত হয় তা $AgNO_3$ দ্রবণে শোষিত হয়ে সাদা অধঃক্ষেপ অর্থাৎ AgCl উৎপন্ন করে, সুতরাং বাষ্পটি নিশ্চয় HCl। যেহেতু NaCl-কে উত্তপ্ত করলে বিয়োজিত হয় না তাই নির্গত HCl বাষ্প MCl-এর তাপ বিয়োজনে উৎপন্ন হয়।

$$\underset{a\text{ g}}{MCl} \xrightarrow{\Delta} HCl \xrightarrow{AgNO_3} \underset{143^{\cdot}5\text{ g}}{AgCl}$$

x g MCl থেকে উৎপন্ন AgCl-এর ওজন $= \frac{143^{\cdot}5x}{a}$; দেওয়া আছে, $\frac{143^{\cdot}5x}{a} = 1^{\cdot}341$ ... ... (2)

(1) নং সমীকরণে এই মান বসিয়ে, $\frac{143^{\cdot}5(1-x)}{58^{\cdot}5} + 1^{\cdot}341 = 2^{\cdot}567$

বা, $143^{\cdot}5\,(1-x) = 58^{\cdot}5\,(2^{\cdot}567 - 1^{\cdot}341)$, বা, $143^{\cdot}5x = 71^{\cdot}78$ বা, $x = \frac{71^{\cdot}78}{143^{\cdot}5} = 0^{\cdot}5$ g

x-এর মান (2) নম্বর সমীকরণে বসিয়ে $\frac{143^{\cdot}5 \times 0^{\cdot}5}{a} = 1^{\cdot}341$, বা, $a = \frac{143^{\cdot}5 \times 0^{\cdot}5}{1^{\cdot}341} = 53^{\cdot}5$ g

সুতরাং, MCl-এর আণবিক গুরুত্ব = 53·5.

[B] ওজন-আয়তন সংক্রান্ত গণনা (Weight to volume calculations)**ঃ**

(i) S.T.P.-তে এক গ্রাম-অণু পরিমাণ যে কোনো গ্যাসের আয়তন 22·4 লিটার হবে। গ্যাসের প্রকৃত আয়তন লিটার বা মিলি লিটারে প্রকাশ করতে হবে। (ii) সমীকরণে প্রকাশিত বিক্রিয়াতে **গ্যাসগুলির আয়তন সর্বদা S.T.P.-তে ধরা হয়।** (iii) গ্যাসীয় পদার্থের আয়তন S.T.P.-তে দেওয়া না থাকলে, $(PV/T = P_1V_1/T_1)$ এই সমীকরণের সাহায্যে গ্যাসীয় পদার্থের আয়তন S.T.P.-তে কত হয় নির্ণয় করতে হবে। (iv) গ্যাসের আণবিক গুরুত্ব = 2 × বাষ্পঘনত্ব অর্থাৎ $M = 2D$ হবে। (v) S.T.P.-তে 1 লিটার H_2 গ্যাসের ওজন = 0·089 হয়, (vi) S.T.P.-তে 1 লিটার যে কোনো গ্যাসের ওজন = গ্যাসটির বাষ্পঘনত্ব × 0·089 গ্রাম।

(1) 1000 লিটার আয়তনের একটি বেলুনে 27°C উষ্ণতায় এবং 750 মিমি চাপে H_2 গ্যাস ভর্তি করার জন্য ন্যূনতম কী পরিমাণ আয়রনের প্রয়োজন? (Fe = 56)

Ans. 1000 লিটার H_2-এর আয়তন S.T.P.-তে ধরি, V ; উষ্ণতা $T = 273$ K, $P = 760$ মিমি।

$V_1 = 1000$ লিটার, $V = ?$ $P_1 = 750$ মিমি $T_1 = (273 + 27) = 300$ K,

$\frac{PV}{T} = \frac{P_1V_1}{T_1}$ বা, $\frac{760 \times V}{273} = \frac{750 \times 1000}{300}$ বা $V = \frac{1000 \times 750 \times 273}{300 \times 760}$ লিটার = 898·026 লিটার

আয়রন থেকে H_2 গ্যাস তৈরি করার বিক্রিয়ার সমীকরণ,

$$\underset{168\text{ g}}{3Fe} + 4H_2O = Fe_3O_4 + \underset{4 \times 22^{\cdot}4\text{ লিটার} = 89^{\cdot}6\text{ লি S.T.P.-তে}}{4H_2}$$

S.T.P.-তে 89·6 লিটার H_2 পাওয়া যায় 168 g Fe থেকে,

S.T.P.-তে 898·026 লিটার H_2 পাওয়া যায় $\frac{168 \times 898^{\cdot}026}{89^{\cdot}6}$ **= 1683·79 g Fe থেকে।**

(2) 20°C উষ্ণতায় ও 780 মিমি চাপে এক গ্রাম সালফারকে সম্পূর্ণভাবে পোড়াতে কত আয়তনের বায়ু দরকার? বায়ুতে অক্সিজেন আয়তন হিসাবে আছে 20·8%।

Ans. বিক্রিয়া ঃ

$$\underset{32}{S} + \underset{22\cdot4\text{ লিটার (STP তে)}}{O_2} = SO_2$$

এই সমীকরণ থেকে জানা যায় 32 g S পোড়াবার জন্য 32 g O_2 দরকার এবং 32 গ্রাম O_2-এর আয়তন S.T.P.-তে 22·4 লিটার। অতএব, S.T.P.-তে 32 g S পোড়াবার জন্য 22·4 লিটার O_2 দরকার।

" 1 g S " " $\frac{22^{\cdot}4}{32}$ লিটার O_2 দরকার।

20°C উষ্ণতায়, 780 মিমি চাপে এই আয়তন = V লিটার হলে,

$\frac{V \times 780}{293} = \frac{22^{\cdot}4 \times 760}{32 \times 273}$ বা, $V = \frac{22^{\cdot}4 \times 760 \times 293}{32 \times 273 \times 780}$ লিটার = 0·732 লিটার O_2

100 লিটার বায়ুতে 20·8 লিটার O_2 থাকে। সুতরাং 0·732 লিটার O_2 পাওয়া যাবে $\frac{100\times0·732}{20·8}$ লিটার বায়ুতে।

বায়ুর আয়তন = $\frac{100\times0·732}{20·8}$ লিটার = 3·52 লিটার ∴ নির্ণেয় বায়ুর আয়তন **3·52 লিটার**।

(3) 112 গ্রাম বিশুদ্ধ আয়রনকে ফেরিক ক্লোরাইডে রূপান্তরিত করে জলে দ্রবীভূত করা হল। এই ফেরিক ক্লোরাইডকে সম্পূর্ণরূপে ফেরাস ক্লোরাইডে পরিণত করতে S.T.P.-তে কত লিটার H_2S গ্যাসের প্রয়োজন হবে? [Fe = 56, Cl = 35·5]

Ans. বিক্রিয়ার সমীকরণ ঃ

(i) $\underset{112\text{ g}}{2Fe} + 3Cl_2 = \underset{325\text{ g}}{2FeCl_3}$ (ii) $\underset{325\text{ g}}{2FeCl_3} + \underset{22·4\text{ লি S.T.P.-তে}}{H_2S} = 2FeCl_2 + 2HCl + S$

(i) নং সমীকরণে দেখা যায়—112 g আয়রন থেকে 325 g $FeCl_3$ পাওয়া যায়।

(ii) নং সমীকরণে পাই—325 g $FeCl_3$ 22·4 লিটার (S.T.P.-তে) H_2S দ্বারা বিজারিত হয়।

সুতরাং প্রয়োজনীয় H_2S-এর আয়তন S.T.P.-তে 22·4 লিটার।

(4) 40% HCl দ্রবণের (আপেক্ষিক গুরুত্ব = 1·16) 10 লিটারের সঙ্গে 20 কিলোগ্রাম Na_2CO_3-এর বিক্রিয়ায় S.T.P.-তে কত আয়তনের CO_2 উৎপন্ন হয়?

Ans. HCl-এর আপেক্ষিক গুরুত্ব = 1·16; সুতরাং 1 লিটার HCl-এর ওজন = 1·16 kg

সুতরাং 10 লিটার HCl-এর ওজন = 11·6 kg

আবার ওজন অনুসারে HCl 40% বিশুদ্ধ, অর্থাৎ 100 kg HCl-এর মধ্যে 40 kg বিশুদ্ধ HCl আছে।

∴ 11·6 kg HCl-এর মধ্যে $\frac{40\times11·6}{100}$ বা 4·64 kg বিশুদ্ধ HCl আছে।

এখন বিক্রিয়ার সমীকরণে—

$$\underset{106\text{ g}}{Na_2CO_3} + \underset{73\text{ g}}{2HCl} = 2NaCl + H_2O + \underset{22·4\text{ লিটার S.T.P.-তে}}{CO_2}$$

এই সমীকরণে Na_2CO_3 ঃ HCl = 106 ঃ 73 = 1·45 ঃ 1

বলা আছে 20 kg Na_2CO_3-এর সঙ্গে 4·64 kg HCl বিক্রিয়া করে। এক্ষেত্রে Na_2CO_3 ঃ HCl = 20 ঃ 4·64—এই অনুপাতটি 1·45 ঃ 1 অনুপাতের চেয়ে অনেক বেশি, অর্থাৎ Na_2CO_3- এর পরিমাণ বেশি আছে। সুতরাং CO_2-এর আয়তন নির্ণয় করতে হলে HCl-এর পরিমাণ দিয়ে নির্ণয় করতে হবে। এখন সমীকরণে দেখা যায়—

73 g HCl থেকে S.T.P.-তে 22·4 লিটার CO_2 পাওয়া যায়।

73 kg HCl থেকে S.T.P.-তে 22400 লিটার CO_2 পাওয়া যায়।

∴ 4·64 kg HCl ,, ,, $\frac{22400\times4·64}{73}$ = **1423·78 লিটার** CO_2 পাওয়া যাবে।

(5) 27°C উষ্ণতায় 750 মিমি চাপে একটি গ্যাস মিশ্রণে আয়তন হিসাবে 80% CO, 20% CO_2 আছে। মিশ্রণটির 1·52 লিটারে কত গ্রাম CO_2 আছে?

Ans. মিশ্রণে 20% CO_2 আছে।

∴ 1·52 লিটার গ্যাস মিশ্রণে CO_2-এর আয়তন $\frac{20\times1·52}{100}$ = 0·304 লি। এই CO_2-এর আয়তন S.T.P.-তে ধরি *V* লি।

$\frac{760\times V}{273} = \frac{750\times0·304}{300}$ বা, $V = \frac{750\times0·304\times273}{760\times300}$ = 0·273 লিটার।

S.T.P.-তে 22·4 লিটার CO_2-এর ওজন = 44 g

∴ 0·273 ,, ,, ,, = $\frac{44\times0·273}{22·4}$ = **0·5362 g**

(6) ফর্মিক অ্যাসিড এবং অক্সালিক অ্যাসিডের একটি মিশ্রণকে গাঢ় H_2SO_4 সহ উত্তপ্ত করা হল। বিক্রিয়ার ফলে উৎপন্ন গ্যাস সংগ্রহ করে KOH দ্রবণ যোগ করায় উৎপন্ন গ্যাসটির আয়তন 1/6 অংশ কমে যায়। মূল মিশ্রণে অ্যাসিড দুটির মোলের অনুপাত নির্ণয় করো।

Ans. ফর্মিক এবং অক্সালিক অ্যাসিডের সঙ্গে গাঢ় H_2SO_4-এর বিক্রিয়ার সমীকরণ ঃ

$$\underset{x \text{ মোল}}{HCOOH} + H_2SO_4 \longrightarrow H_2O + \underset{x \text{ মোল}}{CO} + H_2SO_4$$

$$\underset{y \text{ মোল}}{HOOC\text{—}COOH} + H_2SO_4 \longrightarrow H_2O + \underset{y \text{ মোল}}{CO} + \underset{y \text{ মোল}}{CO_2} + H_2SO_4$$

সমীকরণ থেকে পাই—বিক্রিয়ার ফলে নির্গত CO এবং CO_2-এর মোট মোল সংখ্যা $= x + y + y = x + 2y$, নির্গত CO_2-এর মোল সংখ্যা $= y$. সুতরাং KOH দ্বারা শোষিত CO_2 মোল ভগ্নাংশ $= \frac{y}{x+2y}$

দেওয়া আছে, $\frac{y}{x+2y} = \frac{1}{6}$ বা, $x + 2y = 6y$ বা, $x = 4y$ বা, $\frac{x}{y} = \frac{4}{1}$

সুতরাং ফর্মিক অ্যাসিড ও অক্সালিক অ্যাসিডের মোল সংখ্যার অনুপাত = **4 ঃ 1**

(7) 1 g Al এবং Mg ধাতুর সংকরকে অতিরিক্ত HCl-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করাতে $AlCl_3$, $MgCl_2$ এবং H_2 উৎপন্ন হয়। 0°C উষ্ণতায় এবং 699 মিমি চাপে উৎপন্ন H_2-এর আয়তন 1200 মিলি হয়। ধাতু সংকরটির সংযুতি নির্ণয় করো।

Ans. (i) $\underset{24 \text{ g}}{Mg} + 2HCl = MgCl_2 + \underset{22.4 \text{ লি S.T.P.-তে}}{H_2}$ (ii) $\underset{54 \text{ g}}{2Al} + 6HCl = 2AlCl_3 + \underset{3 \times 22.4 \text{ লি S.T.P.-তে}}{3H_2}$

ধরি, উৎপন্ন H_2-এর S.T.P.-তে আয়তন V মিলি $\therefore \frac{760 \times V}{273} = \frac{699 \times 1200}{273}$ বা, $V = 1103.7$ মিলি।

ধরা যাক, সংকর ধাতুর মধ্যে Mg-এর পরিমাণ x g। সুতরাং Al-এর পরিমাণ $= (1–x)$ g।

(i) 24 g Mg দ্বারা S.T.P-তে 22400 মিলি H_2 উৎপন্ন হয়।

x g Mg দ্বারা S.T.P.-তে $\frac{22400x}{24}$ মিলি H_2 উৎপন্ন হয়।

(ii) 54 g Al দ্বারা S.T.P. তে 3 × 22400 মিলি H_2 উৎপন্ন হয়।

$(1 - x)$ " " " " $\frac{3 \times 22400(1-x)}{2 \times 27}$ মিলি H_2 উৎপন্ন হয়।

শর্তানুসারে, $\frac{22400x}{24} + \frac{3 \times 22400(1-x)}{2 \times 27} = 1103.7$ বা $x = 0.4524$

অর্থাৎ Mg-এর পরিমাণ 0·4524 g এবং Al-এর পরিমাণ = (1 – 0·4524) = 0·5476 g।

$\therefore$ Al-এর পরিমাণ = 0·5476 × 100 = **54·76%**,   Mg-এর পরিমাণ = 0·4524 × 100 = **45·24%**

(8) দেশলাইয়ের একটি কাঠি জ্বালালে P_4S_3 এর দহনের ফলে P_4O_{10}এর সাদা ধোঁয়া এবং গ্যাসীয় SO_2 উৎপন্ন হয়। 0·0546 গ্রাম P_4S_3-এর দহনের ফলে 27° C তাপমাত্রায় এবং 770 মিমি Hg চাপে কী আয়তনের SO_2 উৎপন্ন হয় গণনা করো।

Ans. P_4S_3-এর দহনের বিক্রিয়া ঃ $\underset{220 \text{ g}}{P_4S_3} + 8O_2 = P_4O_{10} + \underset{3 \times 22400 \text{ মিলি S.T.P.-তে}}{3SO_2}$

220 g P_4S_3 দহনের ফলে S.T.P.-তে 3 × 22400 মিলি SO_2 উৎপন্ন হয়।

0·0546 " " " $\frac{3 \times 22400 \times 0.0546}{220} = 16.6778$ মিলি SO_2 উৎপন্ন হয়।



চিত্র 1.3 ঃ ইউডিওমিটার

ধরা যাক, 27° C তাপমাত্রায় এবং 770 মিমি চাপে 16·6778 মিমি SO_2-এর আয়তন V_2 মিলি।

P_1 = 760 মিমি, V_1 = 16·6778 মিলি, T_1 = 273 K, P_2 = 770 মিমি, V_2 = ?, T_2 = 273 + 27 = 300 K

$\frac{760 \times 16.6778}{273} = \frac{770 \times V_2}{300}$ বা, $V_2 = \frac{760 \times 16.6778 \times 300}{273 \times 770}$ মিলি বা, $V_2 = $ **18·089** মিলি

1.11. গ্যাসমিতি [Eudiometry]

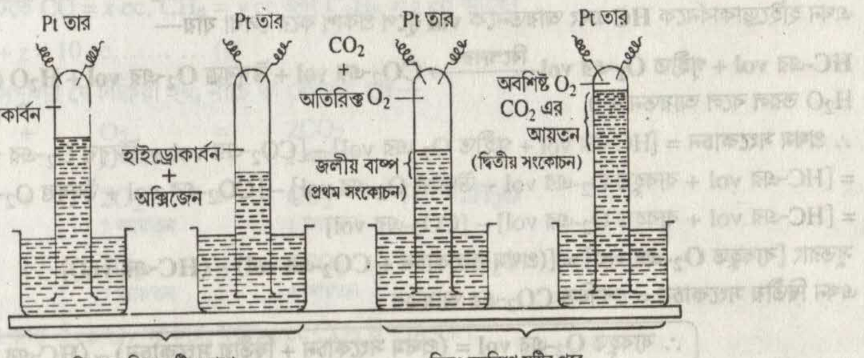
● **আয়তন ও আয়তন-বিষয়ক গণনা ঃ**

গ্যাসের আয়তন-বিষয়ক গণনাকে গ্যাসমিতি (Eudiometry) বলে। গ্যাসের আয়তন-মাপক যন্ত্রকে ইউডিওমিটার বলে। গ্যাসমিতিতে রাসায়নিক সমীকরণের উপর নির্ভর করে গ্যাসীয় পদার্থের আয়তন ও আয়তন- সংক্রান্ত গণনা করা হয়। এইসব গণনার মূলে আছে গে লুসাকের গ্যাস-আয়তন সূত্র এবং অ্যাভোগাড্রো সূত্র।

● **ইউডিওমিটার (Eudiometer) ঃ** গ্যাসীয় পদার্থের রাসায়নিক বিক্রিয়াঘটিত বিভিন্ন পরীক্ষাগুলি এই যন্ত্রের সাহায্যে করা হয়। ইউডিওমিটার হল U-আকৃতির অংশায়িত একটি কাচ নল—এর একপ্রান্ত খোলা থাকে

এবং অন্য প্রান্তে একটি কাচের বাল্‌ব যুক্ত থাকে। বাল্‌বটির মুখ কাচের ছিপি দিয়ে বন্ধ করা থাকে। ওই কাচের ছিপির মধ্যে দুটি প্লাটিনামের তার প্রবেশ করানো থাকে যার সাহায্যে বাল্‌বের মধ্যে বিদ্যুৎ স্ফুলিঙ্গের সৃষ্টি করা হয়। এর ফলে বাল্‌বের মধ্যে রাখা গ্যাসমিশ্রণের মধ্যে বিস্ফোরণ সহ বিক্রিয়াটি সম্পন্ন হয়।

খোলা নলটির মুখে গ্যাসের নির্গম নলটি প্রবেশ করিয়ে পারদের অপসারণ দ্বারা বাল্‌বের মধ্যে নির্দিষ্ট আয়তনের বিক্রিয়ক গ্যাসগুলিকে একে একে ভর্তি করা হয়। খোলা নলের নীচ প্রান্তে একটি নির্গম নল দিয়ে পারদ বের করে দুই নলের মধ্যে পারদের তল



চিত্র 1.4 : প্রথম এবং দ্বিতীয় সংকোচন

এক তলে আনলে—বাল্‌বের মধ্যে গ্যাসের যে আয়তন হয়—সেই আয়তন হল ঘরের উষ্ণতায় এবং চাপে গ্যাসটির আয়তন। এই অবস্থায় বিদ্যুৎ-স্ফুলিঙ্গের সৃষ্টি করলে বাল্‌বের মধ্যস্থ গ্যাসমিশ্রণের মধ্যে বিক্রিয়া ঘটে। বিক্রিয়ার পর যন্ত্রটি ঠান্ডা হয়ে ঘরের উষ্ণতায় এলে যদি সংকোচন হয়—তবে ওই সংকোচনকে **প্রথম সংকোচন** বলে। এর ফলে আগের চেয়ে গ্যাসমিশ্রণের আয়তন কমে যায়। কত আয়তন কমলো নলের গায়ের অংশাঙ্কন থেকে তা জানা যায়। বিক্রিয়ার পর যে অবশিষ্ট গ্যাস থাকে তার মধ্যে কোনো গ্যাসকে শোষণ করার জন্য বিশেষ শোষক (যেমন KOH, ক্ষারীয় পাইরোগ্যালেট ইত্যাদি) প্রবেশ করানো হয়—এর ফলে, ওই গ্যাসটি শোষিত হয়, ফলে আবার আয়তন সংকোচন ঘটে। একেই **দ্বিতীয় সংকোচন** বলে। প্রথম ও দ্বিতীয় সংকোচনের পরও যদি যন্ত্রের মধ্যে অবশিষ্ট কোনো গ্যাস পড়ে থাকে তার আয়তনও পাঠ নেওয়া হয়। এইভাবে বিভিন্ন অবস্থায় প্রাপ্ত আয়তনগুলি থেকেই গ্যাসমিতির গণনা করা হয়। চিত্র সাহায্যে (চিত্র 1.4) প্রথম এবং দ্বিতীয় সংকোচন দেখানো হল।

[A] গ্যাসমিতির সাহায্যে আয়তন সংক্রান্ত গণনায় নীচের বিষয়গুলি মনে রাখা একান্ত প্রয়োজন।

(1) বিক্রিয়ক ও বিক্রিয়াজাত গ্যাসগুলির আয়তন-অনুপাত এবং ওই পদার্থগুলির অণুর সংখ্যার অনুপাত একই হবে। পরীক্ষা দ্বারা দেখা যায় একই উষ্ণতায় ও চাপে—

$$\underset{1\ \text{আয়তন}}{H_2} + \underset{1\ \text{আয়তন}}{Cl_2} = \underset{2\ \text{আয়তন}}{2HCl}$$

উপরের বিক্রিয়ায় অ্যাভোগাড্রোর সূত্র প্রয়োগ করলে, একই উষ্ণতায় ও চাপে দেখা যায়, 1 অণু H_2, 1 অণু Cl_2-এর সঙ্গে যুক্ত হয়ে 2 অণু HCl দেয়। অতএব অণুর সংখ্যার অনুপাত 1 : 1 : 2. এখানে দেখা গেল উপরের গ্যাসীয় বিক্রিয়ায় আয়তন অনুপাত এবং অণুর সংখ্যার অনুপাত উভয়েই 1 : 1 : 2।

(2) (i) এক গ্রাম অণু যে কোনো গ্যাসের (মৌলিক বা যৌগিক) আয়তন S.T.P.-তে 22·4 লিটার হবে। (ii) আবার S.T.P.-তে 22·4 লিটার অথবা 22400 cc যে-কোনো গ্যাসের ওজন যত হয়, তত গ্রাম সংখ্যাই হল ওই গ্যাসের আণবিক গুরুত্ব ; কঠিন **ও তরল পদার্থের কোনো আয়তন গ্যাসমিতিতে ধরা হয় না**—অর্থাৎ বিক্রিয়ক বা বিক্রিয়াজাত কঠিন ও তরল পদার্থের আয়তন শূন্য ধরা হয়।

(3) গ্যাসমিতিতে অনেক সময় উৎপন্ন একাধিক গ্যাসের মিশ্রণে কোনো একটি গ্যাস-শোষক ব্যবহার করা হয়। এর ফলে গ্যাস-মিশ্রণের কোনো একটি গ্যাস শোষিত হয় ; ফলে মিশ্রণের আয়তনের সংকোচন হয়। গ্যাস-শোষক যোগ করার আগে এবং শোষক যোগ করার পর মিশ্রণের আয়তন সংকোচন হলে গ্যাস-মিশ্রণের আয়তন মাপা হয়। এই দুই আয়তনের পার্থক্যই শোষিত গ্যাসের আয়তন। যেমন, O_2 গ্যাস, ক্ষারীয় পাইরোগ্যালেট দ্রবণ দ্বারা এবং CO_2 বা SO_2 গ্যাস, কস্টিক সোডা (NaOH) বা কস্টিক পটাশ (KOH) দ্বারা শোষিত হয়।

(4) কোনো নির্দিষ্ট আয়তনের হাইড্রোকার্বনের সঙ্গে O_2 মিশিয়ে বিস্ফোরণ ঘটালে—ঠান্ডা করার পর গ্যাসমিশ্রণের আয়তন-সংকোচন ঘটে। বিস্ফোরণের ফলে CO_2 এবং জলীয় বাষ্প উৎপন্ন হয়। এই গ্যাসমিশ্রণে কিছু O_2 উদ্‌বৃত্ত থাকে। ঠান্ডা করলে জলীয় বাষ্প জলে পরিণত হয় বলে আয়তন-সংকোচন ঘটে। তাহলে গ্যাসমিশ্রণে পড়ে থাকে CO_2 এবং বাড়তি O_2, এর মধ্যে KOH যোগ করলে KOH দ্বারা CO_2 শোষিত হয় ; ফলে আবার মিশ্রণের আয়তন সংকোচন হয়। এই অবস্থায় ইউডিওমিটার নলে পড়ে থাকে উদ্‌বৃত্ত O_2। সুতরাং দ্বিতীয়বারে যে সংকোচন হয়, সেই আয়তনই হল শোষিত CO_2-এর আয়তন।

এখন হাইড্রোকার্বনকে **HC** এবং আয়তনকে **vol** রূপে প্রকাশ করে লেখা যায়—

HC-এর vol + গৃহীত O_2-এর vol $\xrightarrow{\text{বিস্ফোরণ}}$ CO_2-এর vol + উদ্‌বৃত্ত O_2-এর vol + H_2O (তরল)

H_2O তরল বলে আয়তন = 0

∴ প্রথম সংকোচন = [HC-এর vol + গৃহীত O_2-এর vol] – [CO_2-এর vol + উদ্‌বৃত্ত O_2-এর vol]

= [HC-এর vol + ব্যবহৃত O_2-এর vol + উদ্‌বৃত্ত O_2-এর vol] – [CO_2-এর vol + উদ্‌বৃত্ত O_2-এর vol]

= [HC-এর vol + ব্যবহৃত O_2-এর vol] – [CO_2-এর vol]

সুতরাং **[ব্যবহৃত O_2-এর vol] = [(প্রথম সংকোচন + CO_2-এর vol) – (HC-এর vol)]**

এখন দ্বিতীয় সংকোচন = শোষিত CO_2-এর আয়তন

∴ ব্যবহৃত O_2-এর vol = (প্রথম সংকোচন + দ্বিতীয় সংকোচন) – (HC-এর vol)

● গাণিতিক উদাহরণ (Numerical examples) ঃ

(1) কার্বন মনোক্সাইড ও মিথেনের একটি মিশ্রণে গ্যাস দুটির শতকরা আয়তন নির্ণয় করো। এই মিশ্রণের 10·5 ml-কে সম্পূর্ণ দহন করতে 9 ml O_2-এর প্রয়োজন।

Ans. ধরি, মিশ্রণে CO-এর আয়তন = x ml ∴ মিথেনের আয়তন = $(10·5 - x)$ ml। গ্যাসগুলির পূর্ণ দহনের সমীকরণ—

$$\underset{\substack{\text{2 আয়তন} \\ x \text{ ml}}}{2CO} + \underset{\substack{\text{1 আয়তন} \\ x/2 \text{ ml}}}{O_2} = 2CO_2 \; ; \quad \underset{\substack{\text{1 আয়তন} \\ (10·5 - x)\text{ ml}}}{CH_4} + \underset{\substack{\text{2 আয়তন} \\ 2(10·5 - x)\text{ ml}}}{2O_2} = CO_2 + 2H_2O$$

∴ ব্যবহৃত O_2-এর আয়তন = $\left\{\frac{x}{2} + 2(10·5 - x)\right\}$ ml = $(21 - 1·5x)$ ml

শর্তানুযায়ী, $9 = 21 - 1·5x$ বা, $x = 8$ ml (CO)

এবং $10·5 - x = (10·5 - 8)$ ml = 2·5 ml (CH_4)

∴ CO-এর শতকরা আয়তন = $\frac{8}{10·5} \times 100$ = **76·19**, CH_4-এর শতকরা আয়তন = $\frac{2·5}{10·5} \times 100$ = **23·81**

(2) মিথেন ও ইথিলিনের মিশ্রণের 9 cc-এর সঙ্গে 30 cc অতিরিক্ত O_2 মিশিয়ে বিস্ফোরণ ঘটানো হল। ঠান্ডা করার পর অবশিষ্ট গ্যাসের আয়তন 21 cc হয়। কস্টিক পটাশের সঙ্গে এর বিক্রিয়ায় আয়তন দাঁড়ায় 7 cc, গ্যাসমিশ্রণের সংযুতি নির্ণয় করো।

Ans. ধরি, CH_4-এর আয়তন = x cc. ∴ C_2H_4-এর আয়তন = $(9 - x)$ cc

বিক্রিয়ার পর উৎপন্ন CO_2 এবং অবশিষ্ট O_2-এর আয়তন = 21 cc

কস্টিক সোডা দ্বারা CO_2 শোষিত হওয়ার পর অবিকৃত O_2-এর আয়তন = 7 cc

∴ CO_2-এর আয়তন = (21 – 7) cc = 14 cc

বিক্রিয়ায় ব্যবহৃত O_2-এর আয়তন = (30 – 7) cc = 23 cc

মিথেন ও ইথিলিনের দহন বিক্রিয়াগুলির সমীকরণ—

(i) $$\underset{\substack{\text{1 আয়তন} \\ x \text{ cc}}}{CH_4} + \underset{\substack{\text{2 আয়তন} \\ 2x \text{ cc}}}{2O_2} = \underset{\substack{\text{1 আয়তন} \\ x \text{ cc}}}{CO_2} + 2H_2O$$

(ii) $$\underset{\substack{\text{1 আয়তন} \\ (9 - x) \text{ cc}}}{C_2H_4} + \underset{\substack{\text{3 আয়তন} \\ 3(9 - x) \text{ cc}}}{3O_2} = \underset{\substack{\text{2 আয়তন} \\ 2(9 - x) \text{ cc}}}{2CO_2} + 2H_2O$$

মোট উৎপন্ন CO_2-এর আয়তন = $\{x + 2(9 - x)\}$ cc = $(18 - x)$ cc

$\therefore 14 = 18 - x$ বা, $x = 4$ cc

মিশ্রণের সংযুতি—মিথেন = **4 cc,** ইথিলিন = **(9 – 4) = 5 cc**

(3) CO, CH_4 এবং C_2H_6-এর একটি মিশ্রণের 10 cc নিয়ে 40 cc O_2 মিশিয়ে বিস্ফোরণ ঘটানো হল। বিক্রিয়া শেষে 12 cc CO_2 এবং 23 cc O_2 গ্যাস অবশেষ রইল। মিশ্রণটির উপাদানগুলির আয়তন নির্ণয় করো।

Ans. ধরি, মিশ্রণটিতে CO = x cc, $CH_4 = y$ cc এবং $C_2H_6 = z$ cc আছে।

শর্তানুযায়ী $x + y + z = 10$ cc……… (i)

O_2-এর সঙ্গে গ্যাসগুলির যে বিক্রিয়া হয়, নীচে তা দেখানো হল—

$$\underset{2\text{ আয়তন}}{2CO} + \underset{1\text{ আয়তন}}{O_2} = \underset{2\text{ আয়তন}}{2CO_2}$$

$$\underset{1\text{ আয়তন}}{CH_4} + \underset{2\text{ আয়তন}}{2O_2} = \underset{1\text{ আয়তন}}{CO_2} + 2H_2O$$

$$\underset{2\text{ আয়তন}}{2C_2H_6} + \underset{7\text{ আয়তন}}{7O_2} = \underset{4\text{ আয়তন}}{4CO_2} + 6H_2O$$

$\therefore$ x cc CO-এর জন্য $\frac{x}{2}$ cc O_2 দরকার, ফলে x cc CO_2 উৎপন্ন হয়।

y cc CH_4-এর জন্য $2y$ cc O_2 দরকার, ফলে y cc CO_2 উৎপন্ন হয়।

z cc C_2H_6-এর জন্য $\frac{7z}{2}$ cc O_2 দরকার, ফলে $2z$ cc CO_2 উৎপন্ন হয়।

বিক্রিয়ায় (40 – 23) = 17 cc O_2 ব্যবহৃত হয়।

$\therefore \frac{x}{2} + 2y + \frac{7z}{2} = 17$ … … … (ii) এবং $x + y + 2z = 12$ … … … (iii)

(i), (ii) এবং (iii) সমাধান করলে পাওয়া যায়—

CO-এর আয়তন x cc = **4 cc**, CH_4-এর আয়তন y cc = **4 cc** এবং C_2H_6-এর আয়তন z cc = **2 cc.**

(4) CO, CH_4 এবং H_2 গ্যাসের একটি মিশ্রণের 100 cc-এর সঙ্গে 300 cc O_2 মিশিয়ে দহন করা হল। ঠান্ডা করার পর গ্যাসের আয়তন হল 285 cc. KOH দিয়ে শোষণ করার পর 205 cc O_2 অবশিষ্ট রইল। গ্যাসীয় মিশ্রণটির সংযুতি নির্ণয় করো। (সব গ্যাসগুলির আয়তন একই উষ্ণতা এবং চাপে মাপা হয়েছে)।

Ans. বিক্রিয়াগুলি—

(i) $$\underset{2\text{ আয়তন}}{2CO} + \underset{1\text{ আয়তন}}{O_2} = \underset{2\text{ আয়তন}}{2CO_2}$$

(ii) $$\underset{1\text{ আয়তন}}{CH_4} + \underset{2\text{ আয়তন}}{2O_2} = \underset{1\text{ আয়তন}}{CO_2} + 2H_2O$$

(iii) $$\underset{2\text{ আয়তন}}{2H_2} + \underset{1\text{ আয়তন}}{O_2} = \underset{2\text{ আয়তন}}{2H_2O}$$

ধরি, 100 cc গ্যাস মিশ্রণে x cc CO, y cc CH_4 এবং $[100 - (x + y)]$ cc H_2 আছে।

(i) প্রথম বিক্রিয়াটিতে, x cc CO, $x/2$ cc O_2-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় x cc CO_2 উৎপন্ন করে,

(ii) দ্বিতীয়টিতে, y cc CH_4, $2y$ cc O_2-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় y cc CO_2 উৎপন্ন করে,

(iii) তৃতীয়টিতে, $[100 - (x + y)]$ cc H_2, $\left[\frac{100-(x+y)}{2}\right]$ cc O_2-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে H_2O উৎপন্ন করে।

প্রশ্নানুযায়ী উৎপন্ন CO_2-এর আয়তন = (285 – 205) = 80 cc

$\therefore$ ব্যবহৃত O_2-এর আয়তন = (300 – 205) = 95 cc

$\therefore$ ব্যবহৃত মোট O_2-এর আয়তন = $\left[\frac{x}{2} + 2y + \frac{100-(x+y)}{2}\right]$ cc

সুতরাং $\frac{x}{2} + 2y + \frac{100-(x+y)}{2} = 95$ বা, $x + 4y + 100 - x - y = 190$

বা, $3y = 190 - 100 = 90$ বা, $y = \frac{90}{3} = 30$ cc

অর্থাৎ, CH_4-এর আয়তন = 30 cc; উৎপন্ন CO_2-এর মোট আয়তন = $(x + y)$ cc

$\therefore x + y = 80$ বা, $x = 80 - y = 80 - 30 = 50$ বা, $x = 50$ cc

$\therefore$ CO-এর আয়তন = 50 cc; সুতরাং H_2-এর আয়তন = $100 - (30 + 50) = 20$ cc

$\therefore$ মিশ্রণটির সংযুতি ঃ CO = 50 cc, CH_4 = 30 cc, H_2 = 20 cc

(5) 30 ml CO এবং CO_2 মিশ্রণের সঙ্গে 10 ml O_2 মিশ্রিত করে ইউডিওমিটার যন্ত্রে বিস্ফোরণ ঘটানো হল। অবশিষ্ট গ্যাসকে KOH দ্রবণে শোষিত করলে 5 ml O_2 অবশিষ্ট রইল। গ্যাস মিশ্রণটির সংযুতি নির্ণয় করো। সব পরিমাণ প্রমাণ চাপ ও উষ্ণতায় মাপা হয়েছে।

Ans. ধরি, CO_2-এর আয়তন = x ml $\therefore$ CO-এর আয়তন = $(30 - x)$ ml

বিক্রিয়ায় ব্যবহৃত O_2-এর আয়তন = (গৃহীত O_2-এর আয়তন) – (বিক্রিয়ার পর অবশিষ্ট O_2-এর আয়তন)

$$= (10 - 5)\ \text{ml} = 5\ \text{ml}$$

O_2-এর সঙ্গে বিস্ফোরণের ফলে, CO, O_2-এর সঙ্গে যুক্ত হয়ে CO_2 উৎপন্ন করে। সুতরাং বিক্রিয়া শেষে CO_2 এবং অপরিবর্তিত O_2 থাকে। এর মধ্যে CO_2 KOH দ্বারা শোষিত হয়, পড়ে থাকে শুধু O_2.

$$\underset{2\ \text{আয়তন}}{2CO} + \underset{1\ \text{আয়তন}}{O_2} = \underset{2\ \text{আয়তন}}{2CO_2}$$

বিক্রিয়ায় দেখা যায়, 2 আয়তন CO, 1 আয়তন O_2-এর সঙ্গে যুক্ত হয়।

$\therefore (30 - x)$ ml আয়তন CO $\left(\frac{30-x}{2}\right)$ml আয়তন O_2-এর সঙ্গে যুক্ত হয়।

সুতরাং $\frac{30-x}{2}$ = ব্যবহৃত O_2-এর আয়তন বা, $\frac{30-x}{2} = 5$ বা, $x = 20$ ml

সুতরাং গ্যাস মিশ্রণটির সংযুতি, CO_2-এর আয়তন = **20 ml** ; CO-এর আয়তন = $(30 - 20)$ = **10 ml**

[B] গ্যাসমিতি দ্বারা গ্যাসীয় পদার্থের আণবিক সংকেত নির্ণয় ঃ

● **আণবিক সংকেত নির্ণয় করার পদ্ধতি ঃ (i)** গ্যাস মিশ্রণের প্রাথমিক আয়তন, প্রথম সংকোচন এবং দ্বিতীয় সংকোচন জেনে তার থেকে হাইড্রোকার্বনটির সংকেত নির্ণয় করা যায়। **(ii)** বিক্রিয়ায় যে পরিমাণ O_2 ব্যয়িত হয় তার এক অংশ হাইড্রোকার্বনের C-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে CO_2-তে পরিণত হয় এবং অপর অংশ হাইড্রোকার্বনের H-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে H_2O (স্টিমে পরিণত হয়)। **সম আয়তন O_2, সম আয়তন CO_2 উৎপন্ন করে** এবং 1 আয়তন O_2, 2 আয়তন H_2-এর সঙ্গে যুক্ত হয়ে H_2O উৎপন্ন করে। **(iii)** হাইড্রোকার্বনটির সংকেত C_xH_y হলে এর প্রতি অণু, O_2-এর সঙ্গে যুক্ত হয়ে x সংখ্যক CO_2 অণুতে পরিণত হয় এবং $\frac{y}{2}$ সংখ্যক H_2O অণু উৎপন্ন করে। সুতরাং C_xH_y হাইড্রোকার্বনটির একটি অণুকে সম্পূর্ণ দহন করতে প্রয়োজনীয় O_2-এর অণুর সংখ্যা = $\left(x + \frac{y}{4}\right)$।

$$C_xH_y + \left(x + \frac{y}{4}\right) O_2 \rightarrow x\,CO_2 + \frac{y}{2} H_2O$$

(6) 500 cc আয়তনের একটি হাইড্রোকার্বনকে অতিরিক্ত O_2-এর মধ্যে দহন করায় 2500 cc CO_2 এবং 3 লিটার জলীয় বাষ্প পাওয়া যায়। সব আয়তনগুলি একই চাপ ও উষ্ণতায় মাপা হয়। হাইড্রোকার্বনটির সংকেত কী ?

Ans. ধরি, হাইড্রোকার্বনের সংকেত $C_x H_y$, সুতরাং এর দহন বিক্রিয়াটি হল—

$$\underset{\substack{1\ \text{আয়তন} \\ 500\ \text{cc}}}{C_x H_y} + (x + y/4)\, O_2 \rightarrow \underset{\substack{x\ \text{আয়তন} \\ 500x\ \text{cc}}}{x\, CO_2} + \underset{\substack{y/2\ \text{আয়তন} \\ 500y/2\ \text{cc}}}{y/2\, H_2O}$$

প্রশ্নানুযায়ী $500x = 2500$ বা, 5, আবার $500y/2 = 3000$ বা, $y = (2 \times 3000)/500 = 12$

সুতরাং হাইড্রোকার্বনটির সংকেত $C_5 H_{12}$

(7) একটি গ্যাসীয় হাইড্রোকার্বনের 14 cc-এর সঙ্গে O_2 মিশিয়ে বিস্ফোরণ ঘটানো হল, এর ফলে 28 cc আয়তন সংকোচন হল। অবশিষ্ট গ্যাসের সঙ্গে KOH-এর বিক্রিয়ায় আরও 14 cc আয়তন সংকোচন হয়, হাইড্রোকার্বনটির সংকেত কী ? প্রদত্ত আয়তনগুলির সবগুলি 0°C উষ্ণতায় ও 760 মিমি চাপে মাপা হয়েছে।

Ans. প্রদত্ত হাইড্রোকার্বনটির আয়তন = 14 cc, বিস্ফোরণের পর ঠান্ডা করায় আয়তন সংকোচন = 28 cc

KOH-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় আয়তন সংকোচন অর্থাৎ উৎপন্ন CO_2-এর আয়তন = 14 cc

যদি হাইড্রোকার্বনটির সংকেত C_xH_y হয়, তাহলে বিস্ফোরণে যে বিক্রিয়া হয়, নীচের সমীকরণে তা দেখানো হল—

$$C_xH_y \quad + \quad (x+\frac{y}{4})\,O_2 \quad \rightarrow \quad x\,CO_2 + \quad \frac{y}{2}H_2O$$

1 আয়তন $\quad (x+\frac{y}{4})$ আয়তন $\quad x$ আয়তন

14 cc $\quad 14\,(x+\frac{y}{4})$ cc $\quad 14x$ cc

অর্থাৎ, 14 cc হাইড্রোকার্বন, $14\,(x+\frac{y}{4})$ cc O_2-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে $14x$ cc CO_2 উৎপন্ন করে।

$\therefore 14x = 14$ বা, $x = 1$. বিস্ফোরণের পর ঠান্ডা করায়,

প্রথম আয়তন সংকোচন, = (হাইড্রোকার্বনের আয়তন + ব্যবহৃত O_2-এর আয়তন) – CO_2-এর আয়তন

$$= [14cc+14(x+\frac{y}{4})]\ cc-[14x\ \ cc] = 14\ cc + (14x+\frac{7y}{2}-14x)\ \ cc \ = \ (14+\frac{7y}{2})\ \ cc$$

কিন্তু দেওয়া আছে যে, আয়তন সংকোচন = 28 cc

$\therefore 14 + \frac{7y}{2} = 28$ বা, $2 + \frac{y}{2} = 4$ বা, $\frac{y}{2} = 2$ বা, $y = 4$

$\therefore$ হাইড্রোকার্বনটির সংকেত CH_4, **অর্থাৎ মিথেন।**

(8) 9 আয়তনের একটি গ্যাস মিশ্রণে একটি গ্যাসীয় জৈব যৌগ A এবং A-এর সম্পূর্ণ দহনের জন্য প্রয়োজনীয় পরিমাণ O_2 আছে। দহনের ফলে 4 আয়তন CO_2, 6 আয়তন জলীয় বাষ্প এবং 2 আয়তন N_2 পাওয়া গেল (একই উষ্ণতায় এবং চাপে)। A যৌগটির মধ্যে C, H এবং N থাকলে, (i) A-এর সম্পূর্ণ দহনের জন্য কত আয়তনের O_2-এর প্রয়োজন ; (ii) A যৌগটির আণবিক সংকেত কী ?

Ans. (i) *A* যৌগের কার্বন থেকে CO_2, H_2 থেকে জলীয় বাষ্প উৎপন্ন হয়েছে এবং N_2 কোনো বিক্রিয়া না করে মুক্ত অবস্থায় থাকে। এখন 4 আয়তন CO_2 উৎপন্ন হয়েছে এবং এর জন্য 4 আয়তন O_2-এর প্রয়োজন এবং 6 আয়তন H_2O উৎপন্নের জন্য ওর অর্ধেক $= \frac{6}{2} = 3$ আয়তন O_2-এর প্রয়োজন।

$\therefore$ *A*-এর সম্পূর্ণ দহনের জন্য O_2-এর মোট আয়তন = (4 + 3) = **7 আয়তন।**

(ii) গ্যাস মিশ্রণে (9 – 7) = 2 আয়তন *A* যৌগটি ছিল। এখন দেখা যায়—

2 আয়তন *A* থেকে 4 আয়তন CO_2, 6 আয়তন H_2O এবং 2 আয়তন N_2 পাওয়া যায়।

$\therefore$ 1 আয়তন *A* থেকে 2 আয়তন CO_2, 3 আয়তন H_2O এবং 1 আয়তন N_2 পাওয়া যায়।

অ্যাভোগাড্রো প্রকল্প প্রয়োগ করে পাই—

1 অণু *A* থেকে 2 অণু CO_2, 3 অণু H_2O এবং 1 অণু N_2 পাওয়া যায়। এখন প্রাপ্ত $2CO_2$, $3H_2O$ এবং N_2 অণুতে C, H এবং N পরমাণুর সংখ্যা দেখে বলা যায় 1 অণু *A*-র মধ্যে 2 পরমাণু C, 6 পরমাণু H এবং 2 পরমাণু N থাকে।

$\therefore$ *A*-এর আণবিক সংকেত = $C_2H_6N_2$

(9) 10 cc একটি হাইড্রোকার্বনের সঙ্গে 100 cc O_2 মিশিয়ে বিস্ফোরণ ঘটানো হল। অবশিষ্ট গ্যাসের আয়তন হল 75 cc; আবার KOH যোগ করার পর অবশিষ্ট গ্যাসের আয়তন 35 cc হল। হাইড্রোকার্বনের সংকেত নির্ণয় করো।

Ans. প্রথম সংকোচন = (10 + 100) – 75 = 35 cc

দ্বিতীয় সংকোচন = (75 – 35) = 40 cc = CO_2-এর আয়তন

আমরা জানি, ব্যবহৃত O_2-এর আয়তন = প্রথম সংকোচন + দ্বিতীয় সংকোচন – হাইড্রোকার্বনের আয়তন

$\therefore$ ব্যবহৃত O_2-এর আয়তন = 35 + 40 – 10 = 65 cc

ধরি, হাইড্রোকার্বনটির সংকেত = C_xH_y সুতরাং হাইড্রোকার্বনটির সঙ্গে O_2-এর দহন বিক্রিয়াটি হল—

$$C_xH_y \quad + \quad (x+\frac{y}{4})\,O_2 \quad = \quad x\,CO_2 \quad + \quad \frac{y}{2}\,H_2O$$

1 আয়তন $\quad (x+\frac{y}{4})$ আয়তন $\quad x$ আয়তন

সুতরাং 10 cc হাইড্রোকার্বন, $10(x+\frac{y}{4})$ cc O_2-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে $10x$ cc CO_2 উৎপন্ন করে।

$10x = 40$ বা, $x = 4$

আবার $10(x + \frac{y}{4}) = 65$ বা, $4x + y = \frac{65 \times 4}{10}$ বা, $4x + y = 26$

$x = 4$ বসিয়ে $16 + y = 26$ বা, $y = 10$; সুতরাং হাইড্রোকার্বনের সংকেত C_4H_{10}

(10) একটি গ্যাসীয় হাইড্রোকার্বনের সম্পূর্ণ দহনের জন্য ওর 5 গুণ আয়তনের O_2-এর প্রয়োজন হয়। দহনের ফলে উৎপন্ন গ্যাস মিশ্রণে KOH দ্রবণ দিয়ে ঝাঁকালে হাইড্রোকার্বনটির আয়তনের 3 গুণ আয়তন সংকোচন হয়। হাইড্রোকার্বনটির সংকেত নির্ণয় কর।

Ans. ধরি হাইড্রোকার্বনটির সংকেত $C_x H_y$ এখন, O_2-এর মধ্যে হাইড্রোকার্বনটির দহনের সমীকরণটি হল—

$$\underset{1\text{ আয়তন}}{C_x H_y} + \underset{(x + y/4)\text{ আয়তন}}{(x + y/4) O_2} \rightarrow \underset{x\text{ আয়তন}}{x CO_2} + y/2\, H_2O$$

ধরি 1 ml হাইড্রোকার্বন নেওয়া হয়েছিল, সুতরাং এর সম্পূর্ণ দহনের জন্য প্রশ্নানুসারে 5 ml O_2 এর প্রয়োজন হয় এবং দহনের পর উৎপন্ন গ্যাস মিশ্রণে KOH দেওয়ায় সংকোচন 3 ml হয়। সুতরাং উৎপন্ন CO_2-এর আয়তন = 3 ml

$\therefore x = 3$ এবং $x + y/4 = 5$ বা, $y = 8$. সুতরাং হাইড্রোকার্বনটির সংকেত = $C_3 H_8$

(11) 0·9 g ওজনের একটি জৈব যৌগ (আণবিক গুরুত্ব = 90) কার্বন, হাইড্রোজেন এবং অক্সিজেন দ্বারা গঠিত। যৌগটিকে S.T.P.-তে 224 ml O_2 দ্বারা দহন করা হল। দহনের পর গ্যাস-মিশ্রণের মোট আয়তন হল S.T.P.-তে 560 ml। KOH- এর সঙ্গে বিক্রিয়ার পর মিশ্রণটির আয়তন কমে 112 ml হল। যৌগটির আণবিক সংকেত নির্ণয় করো।

Ans. জৈব যৌগটির মোল সংখ্যা = $\frac{0·9}{90}$ = 0·01 মোল

উৎপন্ন CO_2- এর আয়তন S.T.P.- তে = 560 – 112 = 448 ml

উৎপন্ন CO_2- এর মোল সংখ্যা = $\frac{448}{22400}$ = 0·02 মোল

গৃহীত O_2- এর আয়তন S.T.P.- তে = 224 ml, অবিকৃত O_2- এর আয়তন S.T.P.- তে =112 ml

ব্যবহৃত O_2- এর আয়তন = 224 – 112 = 112 ml ; এবং মোল সংখ্যা = $\frac{112}{22400}$ = 0·005 মোল।

ধরি, যৌগটির সংকেত $C_xH_yO_z$ জৈব যৌগটির দহনের সমীকরণ—

$$\underset{0·01\text{ মোল}}{C_xH_yO_z} + \underset{0·005\text{ মোল}}{[(x+\frac{y}{4}) - \frac{z}{2}]\,O_2} = \underset{0·02\text{ মোল}}{x\,CO_2} + \frac{y}{2}\,H_2O$$

$$[(x+\frac{y}{4}) - \frac{z}{2}]\text{ মোল} \quad x\text{ মোল} \quad \frac{y}{2}\text{ মোল}$$

দেওয়া আছে, 0·01 মোল জৈবযৌগ 0·005 মোল O_2-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় 0·02 মোল CO_2 উৎপন্ন করে।

$\therefore$ 1 মোল যৌগ, 0·5 মোল O_2-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে 2 মোল CO_2 উৎপন্ন করে।

$\therefore x + \frac{y}{4} - \frac{z}{2} = 0·5$ বা, $4x + y - 2z = 2$ … … (1) এবং $x = 2$.

x-এর মান (1) নং সমীকরণে বসিয়ে—

$4 \times 2 + y - 2z = 2$ বা, $8 + y - 2z = 2$ বা, $y - 2z = -6$ .... (2)

এখন $C_xH_yO_z$ যৌগটির আণবিক সংকেত = $12x + y + 16z$

শর্তানুযায়ী, $12x + y + 16z = 90$

x-এর মান = 2 বসিয়ে, $12 \times 2 + y + 16z = 90$ বা, $24 + y + 16z = 90$ বা, $y + 16z = 66$ .... (3)

(2) এবং (3) থেকে পাই, $z = 4$; z-এর মান (2) নং সমীকরণে বসিয়ে, $y - 2 \times 4 = -6$ বা, $y = 2$

সুতরাং যৌগটির আণবিক সংকেত—$C_2H_2O_4$

(12) একটি তরল হাইড্রোকার্বন 0·05 গ্রাম অতিরিক্ত শুষ্ক অক্সিজেন গ্যাসে সম্পূর্ণ দহন করা হল। দহন ক্রিয়ার শেষে অবশিষ্ট গ্যাস মিশ্রণকে শীতল করার পর দেখা গেল যে আয়তনের সংকোচনের পরিমাণ 40 cc হয়। ভিক্টর মেয়ার পরীক্ষাতে এই তরল হাইড্রোকার্বনটির 0·2 গ্রাম বাষ্প S.T.P.-তে 53·3 cc শুষ্ক বায়ুকে অপসারিত করে। হাইড্রোকার্বনটির আণবিক সংকেত নির্ণয় করো।

Ans. 53·3 cc আয়তন বাষ্পের ওজন = 0·2 গ্রাম

$\therefore$ 22400 cc আয়তন বাষ্পের ওজন = $\frac{0{\cdot}2 \times 22400}{53{\cdot}3}$ g = 84 g

$\therefore$ হাইড্রোকার্বনটির আণবিক গুরুত্ব = 84; সুতরাং 0·05 g হাইড্রোকার্বন = 0·05/84 মোল।

ধরি, হাইড্রোকার্বনটির সংকেত C_xH_y ; সুতরাং দহন বিক্রিয়া—

$$C_xH_y + \left(x + \frac{y}{4}\right) O_2 \longrightarrow xCO_2 + \frac{y}{2}H_2O$$

1 মোল বা — $(x + \frac{y}{4})$ মোল বা — x মোল বা

22400 cc — $22400\,(x + \frac{y}{4})$ cc — $22400\,x$ cc

$\therefore$ $\frac{22400 \times 0{\cdot}05}{84}$ cc — $\frac{22400 \times 0{\cdot}05(x + \frac{y}{4})}{84}$ cc — $\frac{22400 \times 0{\cdot}05x}{84}$ cc

প্রথম সংকোচন = ব্যবহৃত O_2-এর আয়তন – উৎপন্ন CO_2-এর আয়তন

$$\text{বা,}\quad 40 = \frac{22400 \times 0{\cdot}05(x + \frac{y}{4})}{84} - \frac{22400 \times 0{\cdot}05x}{84}$$

$$\text{বা,}\quad 40 = \frac{22400}{84}\left[0{\cdot}05x + \frac{0{\cdot}05y}{4} - 0{\cdot}05x\right]$$

$$\text{বা,}\quad 40 = \frac{22400}{84} \times \frac{0{\cdot}05y}{4} \quad \text{বা,}\ y = \frac{40 \times 84 \times 4}{22400 \times 0{\cdot}05} \quad \text{বা,}\ y = 12$$

$\therefore$ $C_xH_{12} = 84$ বা, $12x + 12 = 84$ বা, $x = 6$ সুতরাং হাইড্রোকার্বনটির সংকেত = $\mathbf{C_6H_{12}}$

1.12. কোনো যৌগের সংকেত থেকে ওর উপাদান মৌলগুলির শতকরা সংযুতি নির্ণয় [Calculation of percentage compositions of the constituent elements of a compound]

কোনো যৌগের মধ্যস্থ উপাদান মৌল বা মূলকের শতকরা সংযুতি বলতে, যৌগটির 100 ভাগ ওজনে ওই উপাদান মৌল বা মূলকটি যতভাগ ওজনে উপস্থিত থাকে সেই সংখ্যা বোঝায়।

উদাহরণ ঃ

(1) $MgSO_4$ এর মধ্যস্থ মৌলগুলির প্রত্যেকটির শতকরা সংযুতি নির্ণয় করো।

Ans. $MgSO_4$ এর আণবিক ওজন = 24 + 32 + 4 × 16 = 120

Mg এর শতকরা পরিমাণ = $\frac{\text{যৌগে Mg এর ওজন সংখ্যা} \times 100}{MgSO_4 \text{ এর আণবিক ওজন}} = \frac{24 \times 100}{120} = \mathbf{20\%}$

S এর শতকরা পরিমাণ = $\frac{\text{যৌগে S এর ওজন সংখ্যা} \times 100}{MgSO_4 \text{ এর আণবিক ওজন}} = \frac{32 \times 100}{120} = \mathbf{26{\cdot}67\%}$

O এর শতকরা পরিমাণ = $\frac{\text{যৌগে } O_2 \text{ এর ওজন সংখ্যা}}{MgSO_4 \text{ এর আণবিক ওজন}} = \frac{64 \times 100}{120} = \mathbf{53{\cdot}33\%}$

(2) অ্যামোনিয়াম ডাইক্রোমেটে উপস্থিত ক্যাটায়নের শতকরা পরিমাণ নির্ণয় করো।

Ans. অ্যামোনিয়াম ডাইক্রোমেট $(NH_4)_2\,Cr_2O_7$ এর আণবিক ওজন = 2 × 18 + 2 × 52 + 7 × 16 = 252

ক্যাটায়ন NH_4^+ এর ওজন সংখ্যা = 2 × (14 + 4) = 36 ; NH_4^+ -এর শতকরা পরিমাণ = $\frac{36 \times 100}{252}$ = 14·29%

(3) মোর লবণে [$(NH_4)_2SO_4$, $FeSO_4$, $6H_2O$] এ উপস্থিত SO_4–এর শতকরা পরিমাণ নির্ণয় করো।

Ans. $(NH_4)_2SO_4$, $FeSO_4$, $6H_2O$ এর আণবিক ওজন = 36 + 32 + 64 + 56 + 32 + 64 + 108 = 392

SO_4-এর শতকরা পরিমাণ = $\frac{2[32 + 64] \times 100}{392}$ = **48·98%**

(4) সোডিয়াম এবং ক্লোরিনের তুল্যাঙ্কভার যথাক্রমে 23 এবং 35·46; সোডিয়াম ক্লোরাইডে সোডিয়াম এবং ক্লোরিনের শতকরা মাত্রা নির্ণয় করো।

Ans. মৌলগুলি পরস্পরের সঙ্গে তুল্যাঙ্কভারের অনুপাতে যুক্ত হয়ে যৌগ গঠন করে।

অতএব, 23 গ্রাম Na, 35·46 গ্রাম Cl_2-এর সঙ্গে যুক্ত হয়ে (23 + 35·46) = 58·46 গ্রাম NaCl উৎপন্ন করে।

∴ Na-এর শতকরা ভাগ = $\frac{23 \times 100}{58·46}$ = 39·34 ; Cl-এর শতকরা ভাগ = $\frac{35·46 \times 100}{58·46}$ = 60·66

(5) পটাশ অ্যালামের মধ্যে অ্যালুমিনিয়াম (Al), সালফেট (SO_4) এবং কেলাস জলের শতকরা পরিমাণ নির্ণয় করো।

Ans. পটাশ অ্যালামের সংকেত $K_2SO_4, Al_2(SO_4)_3, 24H_2O$

পটাশ অ্যালামের আণবিক গুরুত্ব = (2 × 39) + 32 + (4 × 16) + (2 × 27) + 3(32 + 4 × 16) + 24(2 + 16) = 948

∴ Al-এর শতকরা পরিমাণ = $\frac{54 \times 100}{948}$ = **5·69%**

SO_4এর শতকরা পরিমাণ = $\frac{384 \times 100}{948}$ = **40·51%**

কেলাস জলের শতকরা পরিমাণ = $\frac{432 \times 100}{948}$ = **45·57%**

1.13. স্থূল ও আণবিক সংকেত [Empirical and molecular formula]

● **স্থূল সংকেত ঃ কোনো যৌগের একটি অণুর মধ্যে যে বিভিন্ন পরমাণুগুলি বিভিন্ন সংখ্যায় বর্তমান থাকে, ওই সংখ্যাগুলির লঘিষ্ঠ পূর্ণসংখ্যার অনুপাত নির্ণয় করে যৌগটির যে সরলতম সংকেত পাওয়া যায়, তাকে ওই যৌগের স্থূল সংকেত বলে।**

স্থূল সংকেত থেকে যৌগের মধ্যে অবস্থিত পরমাণুগুলির সঠিক সংখ্যা সর্বদা পাওয়া যায় না। কোনো যৌগের স্থূল সংকেত থেকে যৌগটির মধ্যে উপস্থিত বিভিন্ন মৌলের পরমাণুগুলির লঘিষ্ঠ পূর্ণসংখ্যার অনুপাত এবং যৌগটির মধ্যে উপস্থিত বিভিন্ন মৌলগুলির ওজনের অনুপাত পাওয়া যায়।

যেমন গ্লুকোজের অণু, কার্বন, হাইড্রোজেন এবং অক্সিজেন দ্বারা গঠিত। এই অণুর মধ্যে C, H এবং O পরমাণুগুলির লঘিষ্ঠপূর্ণ সংখ্যার অনুপাত হল 1 ঃ 2 ঃ 1। সুতরাং গ্লুকোজের স্থূল সংকেত $C_1 H_2 O_1$ হবে।

● **যৌগের স্থূল সংকেত নির্ণয় করার পদ্ধতি ঃ**

(i) কোনো যৌগের মধ্যে উপস্থিত বিভিন্ন মৌলগুলির ওজনের শতকরা পরিমাণ বা ওজন অনুপাত নির্ণয় করা হয়।

(ii) এভাবে প্রাপ্ত যৌগটির অণুর মধ্যে উপস্থিত প্রত্যেকটি মৌলের শতকরা পরিমাণকে কিংবা ওজন অনুপাতকে মৌলগুলির নিজ নিজ পারমাণবিক ওজন দ্বারা ভাগ করলে, ওই যৌগের মধ্যে উপস্থিত বিভিন্ন মৌলগুলির পরমাণুর সংখ্যার অনুপাত পাওয়া যায়।

অর্থাৎ ভাগফলগুলির অনুপাত = অণুর মধ্যস্থ বিভিন্ন পরমাণুগুলির সংখ্যার অনুপাত।

যেমন ধরি *A, B* এবং *C*—এই তিনটি মৌল দ্বারা গঠিত একটি যৌগের 100 গ্রামে *A, B* এবং *C*-এর পরিমাণ যথাক্রমে *x*-গ্রাম, *y* গ্রাম এবং *z* গ্রাম। *A, B* এবং *C* মৌলের পারমাণবিক ওজন যথাক্রমে *a, b* এবং *c* হলে, যৌগটির মধ্যে *A, B, C*-এর মোল সংখ্যার অনুপাত = $\frac{x}{a}$ ঃ $\frac{y}{b}$ ঃ $\frac{z}{c}$ কারণ, মোল সংখ্যা = গ্রামে প্রকাশিত ওজন/গ্রাম পারমাণবিক ওজন।

আমরা জানি 1 মোল পরিমাণ মৌলে পরমাণুর সংখ্যা = $6·023 \times 10^{23} = N_A$ (অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা)

সুতরাং যৌগটির মধ্যে *A, B* এবং *C*-এর পরমাণুর সংখ্যার অনুপাত

$$= \frac{x}{a} \times N_A : \frac{y}{b} \times N_A : \frac{z}{c} \times N_A = \frac{x}{a} : \frac{y}{b} : \frac{z}{c}$$

(iii) এভাবে যৌগের মধ্যস্থ পরমাণুগুলির সংখ্যার যে অনুপাত পাওয়া যায় তা প্রায়ই ভগ্নাংশের হয়। স্থূল সংকেত জানতে হলে পরমাণুগুলির লঘিষ্ঠ পূর্ণসংখ্যার অনুপাত জানা দরকার। তাই লঘিষ্ঠ পূর্ণসংখ্যার অনুপাত পাওয়ার জন্য ওই ভগ্নাংশ অনুপাতের ক্ষুদ্রতম সংখ্যা দিয়ে অনুপাতটিকে আবার ভাগ করা হয়। এইভাবে প্রাপ্ত অনুপাতের কোনোটি যদি পূর্ণসংখ্যার খুব কাছাকাছি হয় তবে এর নিকটতম পূর্ণসংখ্যাটিকে নেওয়া হয়।

(iv) এই কাজ করার পরও যদি পূর্ণসংখ্যার অনুপাত না পাওয়া যায় তবে উপযুক্ত পূর্ণসংখ্যা দিয়ে এই নতুন অনুপাতটিকে গুণ করলেই পরমাণুগুলির লঘিষ্ঠ পূর্ণসংখ্যার অনুপাত পাওয়া যায়। এইভাবে যৌগটির একটি অণুর মধ্যে উপস্থিত বিভিন্ন পরমাণুগুলির লঘিষ্ঠ পূর্ণসংখ্যার অনুপাত পাওয়া যায়।

(v) এইবার যৌগটির মধ্যে উপস্থিত মৌলগুলির চিহ্ন পরপর লিখে প্রতিটি চিহ্নের ডান পাশে একটু নীচের দিকে পরমাণুর আনুপাতিক পূর্ণসংখ্যা লিখলেই ওই যৌগের স্থূল সংকেত পাওয়া যায়।

● **আণবিক সংকেত** (Molecular formula) ঃ

কোনো যৌগের একটি অণুর মধ্যে যে বিভিন্ন পরমাণুগুলি উপস্থিত থাকে, সেই বিভিন্ন পরমাণুগুলির প্রকৃত সংখ্যা যে সংকেত দ্বারা প্রকাশ করা হয় তাকে আণবিক সংকেত বলে।

আণবিক সংকেতে পরমাণুগুলির সংখ্যা নির্দিষ্ট থাকে—অর্থাৎ যৌগের নির্দিষ্ট আণবিক ওজন থাকে।

যেমন গ্লুকোজের একটি অণুতে 6টি কার্বন পরমাণু, 12টি H পরমাণু এবং 6টি O পরমাণু আছে। সুতরাং, গ্লুকোজের আণবিক সংকেত $C_6H_{12}O_6$.

● **আণবিক সংকেত নির্ণয় করার পদ্ধতি ঃ**

(i) কোনো যৌগের আণবিক সংকেত নির্ণয় করতে হলে প্রথমে আগের পদ্ধতি অনুযায়ী যৌগটির স্থূল সংকেত নির্ণয় করা হয়।

(ii) এইবার বিভিন্ন পদ্ধতির সাহায্যে যৌগটির আণবিক গুরুত্ব নির্ণয় করা হয়। যৌগটি উদ্‌বায়ী হলে পরীক্ষার সাহায্যে যৌগটির বাষ্প-ঘনত্ব নির্ণয় করে, $2 \times$ বাষ্প-ঘনত্ব = আণবিক গুরুত্ব, এই সম্পর্কের সাহায্যে যৌগটির আণবিক গুরত্ব নির্ণয় করা হয়।

(iii) যৌগের আণবিক সংকেত ওর স্থূল সংকেতের সমান বা স্থূল সংকেতের কোনো সরল গুণিতক হয়।

অর্থাৎ **স্থূল সংকেত** $\times n =$ **আণবিক সংকেত,** $n = 1, 2, 3$ ইত্যাদি কোনো পূর্ণসংখ্যা।

(iv) এখন n-এর মান নির্ণয় করতে হলে, যৌগটির স্থূল সংকেত অনুযায়ী প্রাপ্ত ওজন অর্থাৎ স্থূল সংকেতে বর্তমান পরমাণুগুলির পারমাণবিক গুরুত্বের যোগফল দিয়ে, যৌগটির প্রকৃত আণবিক গুরুত্বকে ভাগ করলে n-এর মান পাওয়া যায়।

(v) স্থূল সংকেতকে n-এর মান দিয়ে গুণ করলেই যৌগটির আণবিক সংকেত পাওয়া যায়।

উদাহরণ ঃ যেমন গ্লুকোজ অণুর মধ্যে কার্বন, হাইড্রোজেন এবং অক্সিজেন বর্তমান। এই যৌগে কার্বন, হাইড্রোজেন এবং অক্সিজেন পরমাণুর সংখ্যার অনুপাত C ঃ H ঃ O = 1 ঃ 2 ঃ 1 সুতরাং গ্লুকোজের স্থূল সংকেত $C_1H_2O_1$

ধরি, গ্লুকোজের আণবিক সংকেত $(CH_2O)_n$ $\quad n =$ যেকোনো পূর্ণসংখ্যা। গ্লুকোজের আণবিক গুরুত্ব = 180

স্থূল সংকেত অনুযায়ী (CH_2O) গ্লুকোজের আণবিক গুরুত্ব = 12 + 2 + 16 = 30

$$\therefore n = \frac{\text{প্রকৃত আণবিক গুরুত্ব}}{\text{স্থূল সংকেত অনুযায়ী আণবিক গুরুত্ব}} = \frac{180}{30} = 6$$

$\therefore$ গ্লুকোজের আণবিক সংকেত $(CH_2O)_6$ বা, $C_6H_{12}O_6$

স্থূল সংকেত থেকে আণবিক সংকেত নির্ণয় করতে হলে নীচের যে কোনো একটি জানা প্রয়োজন।

(i) যৌগটির **বাষ্পঘনত্ব** (D) জানা প্রয়োজন। তারপর $M = 2D$ এই ফর্মুলা ব্যবহার করে যৌগের আণবিক ওজন নির্ণয় করতে হবে।

(ii) **যৌগটির আয়তন** S.T.P.-তে নির্ণয় করে তা থেকে 22·4 লিটার যৌগের ওজন নির্ণয় করলেই গ্রাম-আণবিক ওজন অর্থাৎ আণবিক ওজন নির্ণয় করা যাবে।

(iii) যদি পদার্থটি অ্যাসিড অথবা ক্ষার হয় তবে প্রদত্ত ডাটাগুলি থেকে ওর **ক্ষারগ্রাহিতা, অম্লগ্রাহিতা** এবং **তুল্যাংকভার** নির্ণয় করা দরকার। তুল্যাংকভারকে ক্ষারগ্রাহিতা অথবা অম্লগ্রাহিতা দ্বারা গুণ করলেই ওই অ্যাসিড বা ক্ষারের আণবিক ওজন নির্ণয় করা যাবে।

● **স্থূল সংকেত এবং আণবিক সংকেতের মধ্যে সম্পর্ক ঃ**

(i) স্থূল সংকেত থেকে যৌগের মধ্যে উপস্থিত মৌলগুলির পরমাণুর সংখ্যার অনুপাত পাওয়া যায়—এই সংকেত থেকে যৌগে উপস্থিত পরমাণুগুলির সঠিক সংখ্যা পাওয়া যায় না।

আণবিক সংকেতে যৌগে উপস্থিত বিভিন্ন মৌলের পরমাণুগুলির সঠিক সংখ্যা পাওয়া যায়।

(ii) স্থূল সংকেত থেকে যৌগে উপস্থিত বিভিন্ন মৌলগুলির ওজন অনুপাত পাওয়া যায় কিন্তু আণবিক ওজন পাওয়া যায় না। আণবিক সংকেত থেকে যৌগে উপস্থিত মৌলগুলির ওজন অনুপাত এবং যৌগটির সঠিক আণবিক ওজন পাওয়া যায়।

(iii) কোনো যৌগের আণবিক সংকেত ওর স্থূল সংকেতের সমান বা স্থূল সংকেতের সরল গুণিতক হয়।

অর্থাৎ আণবিক সংকেত = স্থূল সংকেত $\times n$, $\quad n =$ একটি পূর্ণসংখ্যা। $n = 1$ হলে, আণবিক সংকেত = স্থূল সংকেত।

● **গাণিতিক উদাহরণ** (Numerical examples) **:**

(1) একটি জৈব তরলকে বিশ্লেষণ করে দেখা গেল যে, পদার্থটিতে কার্বনের পরিমাণ 10·06%, H-এর পরিমাণ 0·84% এবং Cl-এর পরিমাণ 89·10%; তরলটির বাষ্পঘনত্ব = 60। যৌগটির আণবিক সংকেত নির্ণয় করো।

Ans. বিভিন্ন প্রক্রিয়াগুলি নীচের ছকে লিখলে পাওয়া যায়—

মৌল	চিহ্ন	শতকরা ভাগ	পারমাণবিক গুরুত্ব	পরমাণুর সংখ্যার অনুপাত	লঘিষ্ঠ পূর্ণসংখ্যার অনুপাত
কার্বন	C	10·06	12	$\frac{10 \cdot 06}{12} = 0 \cdot 84$	$\frac{0 \cdot 84}{0 \cdot 84} = 1$
হাইড্রোজেন	H	0·84	1	$\frac{0 \cdot 84}{1} = 0 \cdot 84$	$\frac{0 \cdot 84}{0 \cdot 84} = 1$
ক্লোরিন	Cl	89·1	35·5	$\frac{89 \cdot 1}{35 \cdot 5} = 2 \cdot 5$	$\frac{2 \cdot 5}{0 \cdot 84} = 3$

যৌগটির স্থূল সংকেত = $\mathbf{CHCl_3}$.

ধরি, যৌগটির আণবিক সংকেত = $(CHCl_3)_n$; এখানে n একটি পূর্ণসংখ্যা।

যৌগটির আণবিক ওজন = $60 \times 2 = 120$

সুতরাং $(CHCl_3)_n = 120 \quad \therefore 12n + n + 3 \times 35 \cdot 5n = 120$ বা, $119 \cdot 5n = 120$ বা, $n = 1$

অতএব যৌগটির আণবিক সংকেত = $\mathbf{CHCl_3}$

(2) Na, S, O এবং H দ্বারা গঠিত একটি যৌগকে বিশ্লেষণ করে নীচের ফলগুলি পাওয়া গেল—

Na = 14·13%, S = 9·97%, H = 6·25%, O = 69·47%

সমস্ত হাইড্রোজেন অক্সিজেনের সঙ্গে যুক্ত অবস্থায় কেলাস জলরূপে বর্তমান আছে। যৌগটির আণবিক সংকেত নির্ণয় করো।

Ans. বিভিন্ন প্রক্রিয়াগুলি নীচের ছকে লিখলে পাওয়া যায়—

মৌল	চিহ্ন	শতকরা ভাগ	পারমাণবিক গুরুত্ব	পরমাণুর সংখ্যার অনুপাত	লঘিষ্ঠ পূর্ণসংখ্যার অনুপাত
সোডিয়াম	Na	14·13	23	$\frac{14 \cdot 13}{23} = 0 \cdot 62$	$\frac{0 \cdot 62}{0 \cdot 31} = 2$
সালফার	S	9·97	32	$\frac{9 \cdot 97}{32} = 0 \cdot 31$	$\frac{0 \cdot 31}{0 \cdot 31} = 1$
অক্সিজেন	O	69·47	16	$\frac{69 \cdot 47}{16} = 4 \cdot 34$	$\frac{4 \cdot 34}{0 \cdot 31} = 14$
হাইড্রোজেন	H	6·25	1	$\frac{6 \cdot 25}{1} = 6 \cdot 25$	$\frac{6 \cdot 25}{0 \cdot 31} = 20$

∴ স্থূল সংকেত = $Na_2SH_{20}O_{14}$

এখন 20টি H-পরমাণু 10টি অক্সিজেন পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত হয়ে 10 অণু কেলাস জল উৎপন্ন করে।

∴ আণবিক সংকেত = $\mathbf{Na_2SO_4, 10H_2O}$

(3) C, H এবং O দ্বারা গঠিত একটি জৈব যৌগের 1·367 গ্রাম বায়ুতে পোড়ানোর ফলে 3·002 গ্রাম CO_2 এবং 1·640 গ্রাম H_2O পাওয়া যায়। যৌগটির স্থূল সংকেত কী হবে?

Ans. CO_2-এর আণবিক গুরুত্ব = $12 + 32 = 44$

∴ 44 g CO_2-এর মধ্যে C-এর পরিমাণ 12 g

∴ 3·002 g CO_2-এর মধ্যে C-এর পরিমাণ = $\frac{12 \times 3 \cdot 002}{44}$ g এখন এই C, 1·367 g যৌগ থেকে এসেছে।

∴ 1·367 g যৌগে C-এর পরিমাণ $\frac{12 \times 3 \cdot 002}{44}$ g

100 " " " " $\frac{12\times3\cdot002\times100}{44\times1\cdot367}=59\cdot89\%$ সুতরাং যৌগটিতে C-এর পরিমাণ **59·89%**

H_2O-এর আণবিক গুরুত্ব = 18

∴ 18 g H_2O-এর মধ্যে H আছে 2 g

1·640 g " " " $\frac{2\times1\cdot64}{18}$ g এই পরিমাণ H_2, 1·367 গ্রাম যৌগ থেকে আসে

∴ 1·367 g যৌগে H আছে $\frac{2\times1\cdot64}{18}$ g

100 " " " " $\frac{2\times1\cdot64\times100}{18\times1\cdot367}$ g = 13·33 g সুতরাং যৌগটিতে H-এর পরিমাণ **13·33%**

∴ যৌগটিতে O-এর পরিমাণ [100 – (59·89 + 13·33)] = 26·78%

যৌগটিতে স্থূল সংকেত নির্ণয়ের বিভিন্ন প্রক্রিয়াগুলি পরের পাতায় দেখানো হল—

মৌল	শতকরা ভাগ	পাঃ ওজন	পরমাণুর সংখ্যার অনুপাত	লঘিষ্ঠ পূর্ণসংখ্যার অনুপাত
কার্বন	59·89	12	$\frac{59\cdot89}{12}=4\cdot99$	$\frac{4\cdot99}{1\cdot67}=3$
হাইড্রোজেন	13·33	1	$\frac{13\cdot33}{1}=13\cdot33$	$\frac{13\cdot33}{1\cdot67}=8$
অক্সিজেন	26·78	16	$\frac{26\cdot78}{16}=1\cdot67$	$\frac{1\cdot67}{1\cdot67}=1$

∴ যৌগটির স্থূল সংকেত = C_3H_8O

(4) C, H, O এবং N ঘটিত একটি জৈব যৌগের 0·2 গ্রামে 40·67% কার্বন এবং 8·47% হাইড্রোজেন আছে। প্রমাণ চাপ এবং উষ্ণতায় ওই পরিমাণ যৌগ থেকে 37·96 মিলি নাইট্রোজেন গ্যাস পাওয়া যায়। যৌগটির স্থূল সংকেত নির্ণয় করো।

Ans. প্রমাণ চাপ ও উষ্ণতায় 22400 ml নাইট্রোজেনের ওজন 28 g

37·96 " " " " " $\frac{28\times37\cdot96}{22400}$ g

নাইট্রোজেনের শতকরা ভাগ = $\frac{28\times37\cdot96}{22400}\times\frac{100}{0\cdot2}=23\cdot72$

কার্বনের শতকরা ভাগ = 40·67, হাইড্রোজেনের শতকরা ভাগ = 8·47

C, H এবং N-এর শতকরা ভাগের পরিমাণ = 40·67 + 8·47 + 23·72 = 72·86

∴ অক্সিজেনের শতকরা ভাগ = (100 – 72·86) = 27·14

মৌল	শতকরা ভাগ	পাঃ ওজন	পরমাণুর সংখ্যার অনুপাত	লঘিষ্ঠ পূর্ণসংখ্যার অনুপাত
C	40·67	12	$\frac{40\cdot67}{12}=3\cdot39$	$\frac{3\cdot39}{1\cdot7}=2$
H	8·47	1	$\frac{8\cdot47}{1}=8\cdot47$	$\frac{8\cdot47}{1\cdot7}=5$
N	23·72	14	$\frac{23\cdot72}{14}=1\cdot7$	$\frac{1\cdot7}{1\cdot7}=1$
O	27·14	16	$\frac{27\cdot14}{16}=1\cdot7$	$\frac{1\cdot7}{1\cdot7}=1$

∴ যৌগটির স্থূল সংকেত = $\mathbf{C_2H_5NO}$

(5) কার্বন, হাইড্রোজেন এবং ক্লোরিন দ্বারা গঠিত একটি উদ্বায়ী যৌগের 0·220 গ্রামের নমুনাকে অক্সিজেনের মধ্যে দহন করায় 0·195 গ্রাম CO_2 এবং 0·0804 গ্রাম H_2O পাওয়া যায়। 105°C উষ্ণতা এবং 768 চাপে 0·120 গ্রাম ওই যৌগের বাষ্পের আয়তন 37·24 মিলি। যৌগটির আণবিক সংকেত নির্ণয় করো।

Ans. যৌগটির O_2-এর মধ্যে দহনে যৌগের মধ্যস্থ কার্বন এবং হাইড্রোজেন যথাক্রমে CO_2 এবং H_2O-এ পরিণত হয়।

44 g CO_2-এর মধ্যে 12 g C থাকে।

সুতরাং 0·195 g CO_2-এর মধ্যে $\frac{12\times 0{\cdot}195}{44} = 0{\cdot}0531$ g C থাকে।

18 g জলের মধ্যে 2 g H থাকে।

সুতরাং 0·0804 g জলের মধ্যে $\frac{2\times 0{\cdot}0804}{18} = 0{\cdot}0089$ g H থাকে।

সুতরাং দেখা গেল 0·220 g যৌগটির মধ্যে 0·0531 g C এবং 0·0089 g H আছে।

∴ যৌগটির মধ্যে Cl-এর পরিমাণ = [0·220 – (0·0531 + 0·0089)] g = 0·158 g

সুতরাং যৌগটির মধ্যে C, H এবং Cl-এর শতকরা পরিমাণগুলি হল—

$C = \frac{0{\cdot}0531\times 100}{0{\cdot}220} = 24{\cdot}13\%$, $H = \frac{0{\cdot}0089\times 100}{0{\cdot}220} = 4{\cdot}04\%$, $Cl = \frac{0{\cdot}158\times 100}{0{\cdot}220} = 71{\cdot}8\%$

ধরি, 0·120 g যৌগটির বাষ্পের S.T.P.-তে আয়তন V মিলি।

$\therefore \frac{V\times 760}{273} = \frac{768\times 37{\cdot}24}{378}$ বা, $V = \frac{768\times 37{\cdot}24\times 273}{378\times 760}$ মিলি $= \frac{768\times 37{\cdot}24\times 273}{378\times 760\times 1000}$ লি

S.T.P. -তে $\frac{768\times 37{\cdot}24\times 273}{378\times 760\times 1000}$ লিটার যৌগটির ওজন = 0·120 g

∴ S.T.P. -তে 22·4 লি যৌগটির ওজন $= \frac{0{\cdot}120\times 22{\cdot}4\times 378\times 760\times 1000}{768\times 37{\cdot}24\times 273} = 98{\cdot}9$ g

অতএব যৌগটির আণবিক গুরুত্ব = 98·9

মৌল	শতকরা ভাগ	পাঃ ওজন	পরমাণুর সংখ্যার অনুপাত	লঘিষ্ঠ পূর্ণসংখ্যার অনুপাত
C	24·13	12	$\frac{24{\cdot}13}{12} = 2{\cdot}02$	$\frac{2{\cdot}02}{2{\cdot}02} = 1$
H	4·04	1	$\frac{4{\cdot}04}{1} = 4{\cdot}04$	$\frac{4{\cdot}04}{2{\cdot}02} = 2$
Cl	71·8	35·5	$\frac{71{\cdot}8}{35{\cdot}5} = 2{\cdot}02$	$\frac{2{\cdot}02}{2{\cdot}02} = 1$

∴ যৌগটির স্থূল সংকেত = CH_2Cl ধরি আণবিক সংকেত = $(CH_2Cl)_n$, n একটি পূর্ণসংখ্যা।

∴ আণবিক গুরুত্ব = $12n + 2n + 35{\cdot}5n = 49{\cdot}5n$

যৌগটির আণবিক গুরুত্ব = 98·9. ∴ $49{\cdot}5n = 98{\cdot}9$ বা $n = \frac{98{\cdot}9}{49{\cdot}5} = 2$

যৌগটির আণবিক সংকেত = $(CH_2Cl)_2 = \mathbf{C_2H_4Cl_2}$

(6) একটি গ্যাসীয় হাইড্রোকার্বনের স্থূল সংকেত CH_2. নির্দিষ্ট চাপ ও উষ্ণতায় এর ঘনত্ব 3·86 g/L এবং সমউষ্ণতায় ও চাপে O_2-এর ঘনত্ব 2·21 g/L. যৌগটির আণবিক সংকেত নির্ণয় করো।

Ans. যেহেতু নির্দিষ্ট চাপ ও উষ্ণতায় যৌগটির ঘনত্ব = 3·86 g/L এবং O_2-এর ঘনত্ব = 2·21 g/L. সুতরাং O_2-এর সাপেক্ষে এর বাষ্পঘনত্ব = 3·86/2·21. O_2-এর আপেক্ষিক ঘনত্ব (H = 1) = 16, সুতরাং H_2 সাপেক্ষে হাইড্রোকার্বনটির আপেক্ষিক ঘনত্ব $= \frac{3{\cdot}86\times 16}{2{\cdot}21}$, আণবিক গুরুত্ব = আপেক্ষিক ঘনত্ব × 2 সুতরাং হাইড্রোকার্বনটির আণবিক গুরুত্ব $= \frac{3{\cdot}86\times 16}{2{\cdot}21}\times 2 = 56$

স্থূল সংকেত হল CH_2 সুতরাং আণবিক সংকেত $(CH_2)_n = 12n + 2n = 14n$

∴ $14n = 56$ বা $n = 4$ ∴ আণবিক সংকেত $(CH_2)_4 = C_4H_8$

● অনুশীলনী ●

[A] অতি-সংক্ষিপ্ত উত্তরধর্মী প্রশ্ন ঃ

(1) অ্যাসেটিক অ্যাসিডের স্থূল সংকেত কী? (2) এক পারমাণবিক ভর একক কী? (3) পারমাণবিক ভরের সংজ্ঞায় কার্বনের কোন আইসোটোপ ব্যবহৃত হয়? (4) বিভিন্ন মৌলের পারমাণবিক ভর বিভিন্ন—ডালটনের এই তত্ত্বটি যে সঠিক নয়—উদাহরণ দিয়ে প্রমাণ করো।

(5) প্রদত্ত বক্তব্যে কী ভুল আছে দেখাও—একই চাপ ও উষ্ণতায় সমআয়তন সব গ্যাসের মধ্যে সমান সংখ্যক পরমাণু থাকে। (6) গ্যাসের বাষ্পঘনত্ব উষ্ণতা ও চাপের উপর নির্ভর করে কী? (7) 1 মোল অণু গ্যাসের আয়তন S.T.P.-তে কত? (8) মৌলের পারমাণবিক ভর ও তুল্যাঙ্কভারের মধ্যে সম্পর্ক কী? (9) আইসোটোপের আবিষ্কার পরমাণুবাদকে সমর্থন করে কী? (10) 1 মোল নাইট্রোজেনে কত সংখ্যক অণু বর্তমান?

[B] সংক্ষিপ্ত উত্তরভিত্তিক প্রশ্ন ঃ

1. (a) ডালটনের পরমাণুবাদের স্বীকার্য বিষয়গুলি লেখ। (b) ডালটনের পরমাণুবাদের প্রয়োজনীয়তা ব্যাখ্যা করো। (c) পরমাণুবাদের অসম্পূর্ণতা আলোচনা করো। **2.** গে লুসাকের গ্যাস আয়তন সূত্রটি বিবৃত করো এবং উদাহরণ সহ ব্যাখ্যা করো। **3.** পারমাণবিক ভর একক (a.m.u.) বলতে কী বুঝায়? পারমাণবিক ভর এককের মান নির্ণয় করো। **4.** অক্সিজেনের পারমাণবিক ওজন 16, একটি অক্সিজেন পরমাণুর প্রকৃত ওজন কত? **5.** নাইট্রোজেনের পারমাণবিক ওজন 14·007 a.m.u., একটি N-পরমাণুর ভর কত গ্রাম? ***[W.B.H. S. '92]*** **6.** কোনো গ্যাসের ঘনত্ব ও বাষ্প ঘনত্বের মধ্যে প্রভেদ কী? **7.** প্রমাণ করো যে 2 × বাষ্পঘনত্ব = অণবিক গুরুত্ব। **8.** অ্যাভোগাড্রো প্রকল্পটি বিবৃত করো এবং ব্যাখ্যা করে বুঝিয়ে দাও। **9.** মোল বলতে কী বোঝ? মিলিমোল কী? এক মোল ইলেকট্রনের মোট আধান কত? মোলের S.I. সংজ্ঞা দাও। **10.** আণবিক সংকেত ও স্থূল সংকেত কাকে বলে? দুটির মধ্যে সম্পর্ক কী? **11.** নীচের গুলির স্থূল সংকেত কী হবে?—C_6H_6, $C_6H_{12}O_6$, H_2O_2, H_2O, N_2O_4. **12.** মোলের S.I. এককের সংজ্ঞা দাও। '1 মোল H_2' বলতে কী বোঝ? **13.** পরমাণুর সংখ্যা/অণুর সংখ্যার সঙ্গে মোল একক কীরূপ সম্পর্কযুক্ত। **14.** 'গে-লুসাকের গ্যাস আয়তন সূত্রটি বিবৃত করো এবং উদাহরণ সহ ব্যাখ্যা করো।

[C] রচনাভিত্তিক প্রশ্ন ঃ

1. অ্যাভোগাড্রো প্রকল্পের সাহায্যে দেখাও যে হাইড্রোজেন এবং ক্লোরিন—এদের প্রত্যেকের অণুতে কমপক্ষে দুটি করে পরমাণু বর্তমান।

2. গ্যাসের প্রমাণ ঘনত্ব বলতে কী বুঝ? গ্যাসের বাষ্পঘনত্ব বলতে কী বুঝ? গ্যাসের বাষ্পঘনত্ব এবং প্রমাণ ঘনত্বের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করো।

3. অ্যাভোগাড্রো প্রকল্পের সাহায্যে প্রমাণ করো কোনো গ্যাসের আণবিক গুরুত্ব ওর আপেক্ষিক ঘনত্ব বা বাষ্প ঘনত্বের দ্বিগুণ। ***[W.B.H. S. '91,'04]***

4. কোনো গ্যাসের আণবিক গুরুত্ব এবং ওর আপেক্ষিক ঘনত্বের মধ্যে সম্পর্ক প্রতিষ্ঠা করো।

5. কার্বন ডাই-অক্সাইডের বাষ্প ঘনত্ব 22—এই উক্তিটির অর্থ কী?

6. গ্রাম আণবিক আয়তন বা মোলার আয়তন বলতে কী বুঝ? দেখাও যে S.T.P.-তে কোনো গ্যাসের মোলার আয়তন 22·4 লিটার।

7. অ্যাভোগাড্রো প্রকল্প সাহায্যে দেখাও—(a) S.T.P.-তে গ্যাসের বাষ্পঘনত্ব × 0·089 = গ্যাসের প্রমাণ ঘনত্ব।

8. টীকা লেখ—(a) গ্রাম-অণু ও গ্রামপরমাণু, (b) পারমাণবিক গুরুত্ব এবং আণবিক গুরুত্ব বা আণবভর (c) গ্রাম-আণবিক আয়তন, (d) অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা, (e) মৌলের তুল্যাঙ্কভার ও গ্রাম তুল্যাঙ্কভারের মধ্যে পার্থক্য কী? ***[W.B.H.S. 2001]***

9. (a) যৌগের স্থূল সংকেত এবং আণবিক সংকেত বলতে কী বোঝ? একটি গ্যাসীয় যৌগের স্থূল সংকেত থেকে ওর আণবিক সংকেত কীভাবে নির্ণয় করবে? (b) স্থূল সংকেত এবং আণবিক সংকেতের মধ্যে সম্পর্ক কী? (c) স্থূল সংকেত এবং আণবিক সংকেতের মধ্যে পার্থক্য কী? কোনো যৌগের স্থূল সংকেত এবং আণবিক সংকেত কখন অভিন্ন হয়?

10. মৌলের তুল্যাঙ্কভার বলতে কী বোঝ? মৌলের পারমাণবিক গুরুত্ব ও তুল্যাঙ্কভারের মধ্যে সম্পর্ক প্রতিষ্ঠা করো। SO_4 এবং CO_3 মূলকের তুল্যাঙ্কভার কত? ফেরাস সালফেটের তুল্যাঙ্কভার কত? ***[W.B.H.S. 2002]***

11. মোলের S. I. সংজ্ঞা লেখো। মিলিমোল বলতে কী বোঝ? মোল ধারণার সুবিধাগুলি বোঝাও।

12. অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা কাকে বলে? উদাহরণসহ বুঝিয়ে দাও। এই সংখ্যার সাহায্যে কীভাবে একটি অণুর প্রকৃত ওজন নির্ণয় করা হয়?

13. রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক ও পারমাণবিক গুরুত্বের মধ্যে সম্পর্ক কী? তুল্যাঙ্কভারের একক হয়না কেন? একটি ধাতু *M*-এর তুল্যাঙ্ক *x*, অক্সাইডের সংকেত $M_x O_n$. দেখাও *M*-এর পরমাণু ভার = $2m/n$

14. অ্যাভোগাড্রো সূত্রের অনুসিদ্ধান্ত এবং প্রয়োগগুলি ব্যাখ্যা করো। প্রমাণ করো যে S.T.P.-তে এক মোল অণু গ্যাসের আয়তন = 22·4 লিটার।

[D] গাণিতিক প্রশ্ন ঃ

1. 5 cc একটি গ্যাসীয় হাইড্রোকার্বনের সঙ্গে অতিরিক্ত O_2 মিশিয়ে বিদ্যুৎস্ফুলিঙ্গের দ্বারা বিস্ফোরণ ঘটানো হল। ঠান্ডা করার পর গ্যাসমিশ্রণটির সংকোচন 10 cc হয়। KOH যোগ করায়—আরো 10 cc সংকোচন হয়। অবশিষ্ট গ্যাস O_2 হলে হাইড্রোকার্বনটির সংকেত কী হবে? **[*Ans.* C_2H_4]**

2. CO এবং C_2H_2-এর একটি মিশ্রণের 50 cc-র সঙ্গে 85 cc অক্সিজেন মিশিয়ে বিদ্যুৎস্ফুলিঙ্গের সাহায্যে আগুন ধরানো হল। ঠান্ডা হলে দেখা গেল অবশিষ্ট গ্যাসের আয়তন 100 cc KOH যোগ করলে দেখা গেল অবশিষ্ট গ্যাসের আয়তন 40 cc হয়। গ্যাস মিশ্রণটির শতকরা সংযুতি নির্ণয় করো। **[*Ans.* CO—80%, C_2H_2—20%]**

3. 100 cc নমুনায় একটি কোল গ্যাসের মধ্যে 40% H_2, 30% CH_4, 20% CO এবং C_2H_4 আছে। এই গ্যাসের মধ্যে 600 আয়তন বায়ু মিশিয়ে বিদ্যুৎ-স্ফুলিঙ্গের সাহায্যে বিস্ফোরণ ঘটান হল। বায়ুতে আয়তন হিসাবে 21% O_2 থাকলে, অবশিষ্ট গ্যাসের সংযুতি নির্ণয় করো। **[*Ans.* CO_2 = 12·73%, O_2 = 1·09%, N_2 = 86·18%]**

4. 12 cc একটি গ্যাসীয় হাইড্রোকার্বনের সঙ্গে অতিরিক্ত O_2 মিশিয়ে বিস্ফোরণ ঘটালে আয়তন সংকোচন দেখা গেল 24 cc; KOH দ্বারা শোষণের ফলে আয়তন আরো 12 cc সংকোচন হয়। হাইড্রোকার্বনটির সংকেত কী? [*Ans.* CH_4]

5. (a) গাছের সবুজ পাতার ক্লোরোফিলে ওজন হিসাবে 2·68% Mg থাকে। 2 g ক্লোরোফিলের মধ্যে কত সংখ্যক Mg পরমাণু থাকবে?
(b) প্রতি kg চিনির ($C_{12}H_{22}O_{11}$) দাম 6 টাকা হলে 1 মোল চিনির দাম কত? [*Ans.* (a) $1·3 \times 10^{21}$; (b) 2·05 টাকা]

6. একটি যৌগে 40% C, 6·6% H এবং অবশিষ্ট অক্সিজেন আছে। যৌগটির বাষ্পঘনত্ব 30 হলে, যৌগটির আণবিক সংকেত কী হবে? [*Ans.* $C_2H_4O_2$]

7. একটি গ্যাসীয় যৌগের ওজন হিসাবে 1·59% H, 76·09% O এবং 22·32% N আছে। S.T.P.-তে ওই গ্যাসের 333·4 ml আয়তনের ওজন 0·939 g। গ্যাসটির আণবিক সংকেত নির্ণয় করো। [*Ans.* HNO_3]

8. C, H, O এবং N দ্বারা গঠিত একটি যৌগের 0·3 g নিয়ে CuO-এর সঙ্গে উত্তপ্ত করলে 0·18 g জল, 0·22 g CO_2 এবং 112 cc N_2 গ্যাস S.T.P.-তে উৎপন্ন হয়। যৌগটির স্থূল সংকেত কী? [*Ans.* CH_4ON_2]

9. কার্বন ও অক্সিজেন যুক্ত কোনো যৌগের আনুমানিক আণবিক ওজন 290 বিশ্লেষণ করে দেখা গেল যৌগটির মধ্যে দুটি মৌলের পরিমাণ 50%। যৌগটির আণবিক সংকেত কী? [*Ans.* $C_{12}O_9$]

10. 40% HCl দ্রবণের 10 লিটার (আপেক্ষিক গুরুত্ব 1·16) এর সঙ্গে 20 কেজি K_2CO_3-এর বিক্রিয়ায় S.T.P.-তে কত আয়তনের CO_2 উৎপন্ন হবে? [*Ans.* 1953·6 লিটার]

11. একটি জৈব যৌগে ওজন হিসাবে 40·68% C, 5·08% H এবং অবশিষ্ট O আছে। যৌগটির বাষ্পঘনত্ব 59. যৌগটির আণবিক সংকেত কী হবে? [*Ans.* $C_4H_6O_4$]

12. অতিরিক্ত অক্সিজেন পরিহার করে 20 ml কোনো গ্যাসীয় হাইড্রোকার্বনকে বিস্ফোরণ করানো হল। ঠান্ডা করার পর আয়তন সংকোচন হয় 60 ml। হাইড্রোকার্বনটির বাষ্প ঘনত্ব = 22, হাইড্রোকার্বনটির সংকেত নির্ণয় করো। [*Ans.* C_3H_8]

13. 0·2 মোল সোডিয়াম কার্বনেট, সোডিয়াম বাই কার্বনেটে পরিণত করতে যে পরিমাণ CO_2-এর প্রয়োজন হয় তা কত গ্রাম $CaCO_3$-কে উত্তপ্ত করে পাওয়া যাবে? [*Ans.* 20 g]

14. ধাতব কপার এবং কিউপ্রিক অক্সাইডের একটি মিশ্রণের 5 g-কে H_2 গ্যাস দ্বারা বিজারিত করলে 4·196 g ধাতব কপার পাওয়া যায়। মিশ্রণটিতে কপারের শতকরা পরিমাণ নির্ণয় করো। [*Ans.* 20%]

15. Al ও Mg ধাতুর তৈরি একটি পাতের ওজন 0·15 g। পাতটির সঙ্গে HCl-এর ক্রিয়ায় 27°C উষ্ণতায় এবং 750 mm চাপে 187 ml শুষ্ক H_2 পাওয়া গেল। পাতটির মধ্যে Al এবং Mg-এর শতকরা পরিমাণ নির্ণয় করো। [*Ans.* Al = 57·73% Mg = 42·26%]

16. (a) 15 g Ca-এর মধ্যে যত সংখ্যক পরমাণু আছে, কত গ্রাম Na-এর মধ্যে সেই সংখ্যক পরমাণু থাকবে? [*Ans.* 8·625 g]
(b) প্রতি সেকেন্ডে 10 লক্ষ টাকা হিসাবে অ্যাভোগাড্রো সংখ্যক টাকা গুণতে কত সময় লাগবে? [*Ans.* $1·9 \times 10^{10}$ বৎসর]

17. (a) 0·1 মোল Na_2CO_3, $10H_2O$-এর মধ্যে উপস্থিত অক্সিজেন পরমাণু ভর গ্রামে প্রকাশ করো। [*Ans.* 20·8 g]

18. 1·67 g ওজনের Al এবং Zn-এর একটি মিশ্রণকে অ্যাসিডে সম্পূর্ণ দ্রবীভূত করায় 1 অ্যাটমোসফিয়ার চাপ এবং 273K উষ্ণতায় 1·69 লিটার হাইড্রোজেন গ্যাস নির্গত হল। মিশ্রণে Al-এর পরিমাণ নির্ণয় করো। [*Ans.* 1·229 g]

19. Na_2CO_3 এবং $NaHCO_3$-এর মিশ্রণের 1 g অতিরিক্ত লঘু HCl-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করায় 778·5 ml চাপে এবং 27°C উষ্ণতায় 240 cc CO_2 নির্গত হয়। মিশ্রণটির শতকরা সংযুতি নির্ণয় করো। [*Ans.* Na_2CO_3 77·6% $NaHCO_3$,; 22·4%]

20. একটি বন্ধ পাত্রে 1 g Mg-কে 0·5 g O_2-এর মধ্যে দহন করা হল। (i) কোন বিক্রিয়কটি অতিরিক্ত অবশেষ রূপে পাওয়া যাবে? (ii) অতিরিক্ত বিক্রিয়কটির ওজন নির্ণয় করো। [*Ans.* Mg, 0·25 g]

21. 75 সেমি চাপ এবং 27°C উষ্ণতায় 10 লিটার আয়তনের একটি গ্যাসের মধ্যে অণুর সংখ্যা নির্ণয় করো। [*Ans.* $2·049 \times 10^{23}$]

22. 0·5 g কপার (II) কার্বনেটকে দ্রবীভূত করতে 0·4 M H_2SO_4 দ্রবণের কত মিলি লিটারের প্রয়োজন হবে? [*Ans.* 8·1 ml]

2

তেজস্ক্রিয়তা এবং পরমাণুর গঠন
[Radioactivity and Atomic Structure]

2.1. স্বাভাবিক তেজস্ক্রিয়তা [Natural radioactivity]

রসায়নের অনেক গুরুত্বপূর্ণ আবিষ্কারগুলির মতো স্বাভাবিক তেজস্ক্রিয়তার আবিষ্কারও হঠাৎ এবং আকস্মিক। ফরাসি বিজ্ঞানী **হেনরি বেকেরেল** (Henry Becquerel) 1896 সালে, প্রতিপ্রভা এবং এক্স রশ্মির মধ্যে সম্পর্ক আছে কিনা দেখার জন্য তিনি একদিন ইউরেনিয়াম-ঘটিত এক লবণকে [**পটাশিয়াম ইউরানিল সালফেট** $K_2UO_2(SO_4)_2, 2H_2O$] মোটা কালো কাগজে মোড়া একটি ফটোগ্রাফিক প্লেটের উপর রেখে দেন। কয়েকদিন পর তিনি দেখেন যে ওই ফটোগ্রাফিক প্লেটে ইউরেনিয়াম লবণের ছবি উঠে গেছে। তিনি অবাক হয়ে ভাবতে থাকেন অন্ধকারে কোন্ অদৃশ্য আলোক শক্তি মোটা কালো কাগজকে ভেদ করে ওই ফটোগ্রাফিক প্লেটকে আক্রমণ করতে পারে। অনেক চিন্তা এবং গবেষণার পর তিনি এই সিদ্ধান্তে এলেন— **(i)** ইউরেনিয়াম-ঘটিত লবণ থেকে একরকম অদৃশ্য রশ্মি স্বতঃস্ফূর্তভাবে সব সময় নির্গত হতে থাকে, যাকে কোনো অবস্থাতেই নিয়ন্ত্রণ করা যায় না। **(ii)** এই রশ্মি অন্ধকারেও কালো কাগজে মোড়া ফটোগ্রাফিক প্লেট আক্রমণ করে এবং পাতলা ধাতব পাত অতিক্রম করে। এভাবে যে নতুন রশ্মি আবিষ্কার হল তার নাম দেওয়া হল **বেকেরেল রশ্মি** (Becquerel rays) ; পরে এই রশ্মির নাম দেওয়া হয় তেজস্ক্রিয় বা **রেডিওঅ্যাক্টিভ রশ্মি** (Radioactive rays)।

● তেজস্ক্রিয়তার সংজ্ঞা : *যে ধর্মের প্রভাবে, সাধারণত ভারী মৌলের পরমাণুর নিউক্লিয়াস, যে কোনো অবস্থায় নিজে থেকেই স্বতঃস্ফূর্তভাবে অবিরাম গতিতে বিভাজিত হয়ে নূতন মৌলের পরমাণুর নিউক্লিয়াসে পরিণত হতে থাকে এবং সেই সঙ্গে বিশেষ ধরনের অদৃশ্য রশ্মি বিকিরণ করে, যে বিকিরণের হার শুধু নির্দিষ্ট মৌল এবং মৌলটির পরিমাণের উপর নির্ভর করে, কিন্তু তাপমাত্রা, চাপ, আলোক, অনুঘটক বা রাসায়নিক বিক্রিয়া—কোনো কিছুর দ্বারা প্রভাবিত হয় না, মৌলের সেই ধর্মকে তেজস্ক্রিয়তা বলে।*

যে মৌলগুলির মধ্যে এই তেজস্ক্রিয় ধর্ম দেখা যায় তাদের **তেজস্ক্রিয় মৌল** বলে। যেমন, **ইউরেনিয়াম, রেডিয়াম।**

● তেজস্ক্রিয় পদার্থ (Radioactive substance) :

বেকেরেল পরীক্ষা করে দেখেন যে, **ইউরেনিয়াম (U) এবং ইউরেনিয়াম ঘটিত সমস্ত লবণই তেজস্ক্রিয়।** 1896 সালে বিখ্যাত বিজ্ঞানী **মেরি কুরি** এবং তার স্বামী **পিয়ের কুরি** ইউরেনিয়ামের আকরিক **পিচব্লেন্ড** (U_3O_8) থেকে নতুন দুটি তেজস্ক্রিয় মৌল **পোলোনিয়াম** (Po) এবং **রেডিয়াম** (Ra) আবিষ্কার করেন। রেডিয়ামের তেজস্ক্রিয়তা ইউরেনিয়ামের চেয়ে প্রায় দশ লক্ষ গুণ বেশি। এরপর জানা গেল যে **থোরিয়াম (Th), অ্যাক্টিনিয়াম** এবং নিষ্ক্রিয় গ্যাস **রেডনও (Rn)** তেজস্ক্রিয় মৌল।



চিত্র 2.1 : মেরি কুরি

● **স্বাভাবিক তেজস্ক্রিয়তা : প্রকৃতিতে পাওয়া যায় এমন তেজস্ক্রিয় মৌলকে স্বাভাবিক তেজস্ক্রিয় মৌল বলে এবং এই জাতীয় মৌলের স্বতঃস্ফূর্ত তেজস্ক্রিয়তাকে স্বাভাবিক তেজস্ক্রিয়তা বলে।**

ইউরেনিয়াম, রেডিয়াম, পোলোনিয়াম, থোরিয়াম, অ্যাক্টিনিয়াম প্রভৃতি মৌলগুলি হল স্বাভাবিক তেজস্ক্রিয় মৌল। এই মৌলগুলির কেন্দ্রক থেকে বা মৌলগুলির যৌগ থেকে তেজস্ক্রিয় রশ্মির বিকিরণই স্বাভাবিক তেজস্ক্রিয়তা।

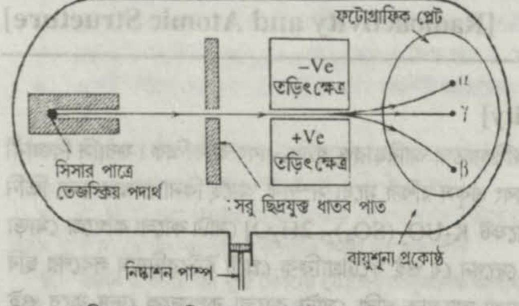
[**কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়তা :** কতকগুলি সুস্থিত অতেজস্ক্রিয় মৌলে কৃত্রিম উপায়ে তেজস্ক্রিয় ধর্ম সঞ্চারিত করার ফলে ওই মৌলে যে তেজস্ক্রিয় ধর্মের সৃষ্টি হয় তাকে কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়তা বলে। যেমন, Mg-এর উপরে α-কণার বর্ষণে সৃষ্ট তেজস্ক্রিয় $_{14}Si^{27}$]

2.2. আল্‌ফা, বিটা ও গামা রশ্মির প্রকৃতি ও ধর্ম [Nature and properties of alpha, beta and gamma rays]

1902 খ্রিস্টাব্দে রাদারফোর্ড তেজস্ক্রিয় রশ্মির প্রকৃতি জানার জন্য নীচের পরীক্ষাটি করেন।

● **পরীক্ষা :** একটি তেজস্ক্রিয় পদার্থকে (যেমন, রেডিয়াম লবণ—$RaBr_2$) একটি ছিদ্রযুক্ত বধ্ব সিসার পাত্রের মধ্যে রেখে

পাত্রটির খোলা মুখের সামনে খুব সরু ছিদ্র-বিশিষ্ট লেডের পাত রাখা হয়। এই পাতের সামনে কিছুদূরে একটি ফটোগ্রাফিক প্লেট রাখা থাকে। সমগ্র ব্যবস্থাটি একটি আবদ্ধ বায়ুশূন্য প্রকোষ্ঠের মধ্যে সম্পন্ন করা হয়।



চিত্র 2.2 ঃ তড়িৎক্ষেত্রে তেজস্ক্রিয় রশ্মির বিভাজন

এই অবস্থায় সিসার পাত্র থেকে তেজস্ক্রিয় রশ্মির একটি সরু গুচ্ছ নির্গত হয়, এই রশ্মি-গুচ্ছ ধাতব পাতের সরু ছিদ্রের মধ্যে প্রবেশ করে আরও সরু হয়ে সরলরেখায় বেরিয়ে আসে এবং ফটোগ্রাফিক প্লেটের উপর সোজাসুজি গিয়ে পড়ে প্লেটের উপর একটি কালো বিন্দুর সৃষ্টি করে (চিত্র 2.2)।

রশ্মিটিকে শক্তিশালী চৌম্বকক্ষেত্র বা তড়িৎক্ষেত্রের মধ্য দিয়ে অতিক্রম করালে দেখা গেল ফটোগ্রাফিক প্লেটের উপর আগের বিন্দুটি ছাড়া আরও 2টি কালো বিন্দুর সৃষ্টি হচ্ছে। এই নতুন বিন্দু দুটি আগের উৎপন্ন বিন্দুর দুই বিপরীত পাশে গঠিত হয়—একটি আগের উৎপন্ন বিন্দুটির কাছে এবং অপরটি একটু দূরে উৎপন্ন হয়। **এই পরীক্ষার দ্বারা জানা গেল যে তড়িৎক্ষেত্রের মধ্য দিয়ে যাওয়ার সময় তেজস্ক্রিয় রশ্মি, তিনটি অংশে বিভক্ত হয়ে যায়।**

(i) তেজস্ক্রিয় রশ্মির একটি অংশ **তড়িৎক্ষেত্রের নেগেটিভ মেরুর দিকে সামান্য হেলে অগ্রসর হয়ে** ফটোগ্রাফিক প্লেটে আগের বিন্দুটির কাছাকাছি জায়গায় নতুন বিন্দু উৎপন্ন করে। এতে প্রমাণিত হয় যে **তেজস্ক্রিয় রশ্মির এই অংশটি পজিটিভ চার্জযুক্ত কণা।** এর নাম দেওয়া হয় **আল্ফা (α) রশ্মি।**

(ii) তেজস্ক্রিয় রশ্মির দ্বিতীয় অংশটি তড়িৎক্ষেত্রের **পজিটিভ মেরুর দিকে অনেকখানি হেলে অগ্রসর হয়ে** আগের উৎপন্ন বিন্দুটির থেকে বেশ কিছুটা দূরে দ্বিতীয় বিন্দুটি উৎপন্ন করে। এর দ্বারা প্রমাণিত হয় যে **তেজস্ক্রিয় রশ্মিটির এই অংশটি নেগেটিভ চার্জযুক্ত কণা।** এর নাম দেওয়া হয় **বিটা (β) রশ্মি।**

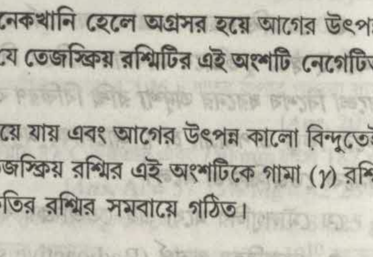
(iii) তৃতীয় অংশটি তড়িৎ বা চৌম্বক-ক্ষেত্র দ্বারা বিক্ষিপ্ত না হয়ে সোজা বেরিয়ে যায় এবং আগের উৎপন্ন কালো বিন্দুতেই গিয়ে পড়ে। এরদ্বারা প্রমাণিত হয় যে তেজস্ক্রিয় রশ্মির এই অংশটি নিস্তড়িত। তেজস্ক্রিয় রশ্মির এই অংশটিকে গামা (γ) রশ্মি বলা হয়। এই পরীক্ষায় প্রমাণিত হল যে তেজস্ক্রিয় রশ্মিগুচ্ছ তিনটি বিভিন্ন প্রকৃতির রশ্মির সমবায়ে গঠিত।

(1) আল্ফা রশ্মি বা আল্ফা কণা (α) ঃ

যে রশ্মিটি চৌম্বক ও তড়িৎক্ষেত্রের মধ্যে দিয়ে অতিক্রম কালে নিজের স্বাভাবিক গতিপথ থেকে বিচ্যুত হয়ে **নেগেটিভ মেরুর দিকে** সামান্য হেলে যায়, সেটি হল α-কণার সমবায়ে গঠিত আল্ফা রশ্মি (α-rays)। আল্ফা কণার ভর এবং ভরবেগ বিটা কণার ভর এবং ভরবেগের চেয়ে অনেক বেশি, তাই তড়িৎক্ষেত্রে এর বিক্ষেপের পরিমাণ বিটা কণার চেয়ে অনেক কম।

(i) প্রকৃতি ঃ আল্ফা রশ্মি প্রকৃতপক্ষে কোনো রশ্মি নয়—পজিটিভ চার্জযুক্ত ছোটো ছোটো α-কণার স্রোত মাত্র।

(ii) আল্ফা কণার ভর ও চার্জ ঃ তেজস্ক্রিয় পদার্থের নিউক্লিয়াস থেকে নির্গত α-কণাগুলি তড়িৎক্ষেত্রের নেগেটিভ মেরুর দিকে হেলে যাওয়াতে বোঝা যায় যে **কণাগুলি পজিটিভ তড়িদ্‌গ্রস্ত। রাদারফোর্ড ও সডি পরীক্ষা করে দেখেন যে, এই কণাগুলি হিলিয়াম আয়ন ${}^4_2He^{2+}$ ছাড়া অন্য কিছু নয়। একটি α-কণার ভর একটি প্রোটনের ভরের চারগুণ, অর্থাৎ ভর** = 4 a.m.u. = $6{\cdot}642 \times 10^{-24}$ গ্রাম এবং **পজিটিভ তড়িতের পরিমাণ 2 একক** অর্থাৎ $\mathbf{9{\cdot}6 \times 10^{-10}}$ e.s.u. বা, $3{\cdot}2 \times 10^{-19}$ কুলম্ব।



চিত্র 2.3 ঃ α-কণা, β-কণা ও γ-রশ্মি

(iii) কোনো তেজস্ক্রিয় মৌলের নিউক্লিয়াস থেকে একটি α-কণা বেরিয়ে গেলে যে নতুন পরমাণুর সৃষ্টি হয়, তার ভর আগের পরমাণুর চেয়ে **4** একক কম হয় এবং চার্জ অর্থাৎ পারমাণবিক সংখ্যা **2** একক কমে যায়। যেমন ইউরেনিয়াম-238 থেকে 1টি α-কণা বেরিয়ে গেলে, থোরিয়াম-234 পরমাণুতে পরিণত হয়।

$$_{92}U^{238} \xrightarrow{-\alpha\text{-কণা}} {}_{90}Th^{234}$$

(iv) গতিবেগ ঃ α-কণার গতিবেগ 20,000 কিমি/সেকেন্ড থেকে 30,000 কিমি/সেকেন্ড।

(v) গতিশক্তি ঃ অন্যান্য কণার তুলনায় α-কণার গতিবেগ কম হলেও ভর বেশি হওয়ার জন্য, α-কণার **ভরবেগ এবং গতিশক্তি অপেক্ষাকৃত** বেশি।

(vi) গ্যাস আয়নিত করার ক্ষমতা ঃ কোনো গ্যাসের মধ্য দিয়ে এই কণাগুলি অতিক্রম করলে গ্যাসের পরমাণু থেকে ইলেকট্রন বিচ্ছিন্ন হয়, ফলে গ্যাসের পরমাণুগুলি আয়নে পরিণত হয়। এইভাবে **গ্যাসকে আয়নিত করার ক্ষমতা α-কণার বেশি।**

(vii) ভেদন ক্ষমতা ঃ α-রশ্মির ভর অপেক্ষাকৃত বেশি বলে ভেদন ক্ষমতা সবচেয়ে কম। বায়ুর মধ্যে 7 সেমি যাওয়ার পর এর গতি স্তব্ধ হয়ে যায় এবং পরিবেশ থেকে ইলেকট্রন গ্রহণ করে, ফলে এর তড়িদ্ধর্ম নষ্ট হয়ে হিলিয়াম পরমাণুতে পরিণত হয়। $He^{2+} + 2e \rightarrow He$. এই রশ্মি পাতলা ধাতুর পাত ভেদ করতে পারে তবে 0·1 মিমি পুরু Al পাত এর গতিরোধ করে।

(viii) জীবদেহের উপর ক্রিয়া ঃ ভেদন ক্ষমতা কম বলে, জীবদেহের উপর বাইরে থেকে বর্ষিত এই কণার ক্ষতির প্রভাব, β-কণা বা γ-রশ্মির চেয়ে অনেক কম, তবে দেহের ভেতরে থাকা উৎস থেকে নির্গত α-কণার গতিশক্তি অনেক বেশি এবং আয়নিত করার ক্ষমতাও বেশি, তাই ওর ক্রিয়া β-কণার চেয়ে মারাত্মক।

(ix) প্রতিপ্রভার সৃষ্টি ঃ α-কণার স্রোত, **জিঙ্ক সালফাইড** আস্তরণ যুক্ত পদার্থের উপর পড়ে প্রতিপ্রভার সৃষ্টি করে এবং ফটোগ্রাফিক প্লেটকে আক্রমণ করে।

(x) তড়িৎ ও চৌম্বকক্ষেত্রের প্রভাব ঃ α-কণার ভর অপেক্ষাকৃত বেশি এবং পজিটিভ তড়িদ্‌গ্রস্ত বলে তড়িৎ বা চৌম্বক ক্ষেত্রে নেগেটিভ মেরুর দিকে বেঁকে যায়, বিক্ষেপ কম হয়।

(2) বিটা রশ্মি বা বিটাকণা (β) ঃ রাদারফোর্ডের পরীক্ষায় তেজস্ক্রিয় রশ্মির যে অংশটি তড়িৎক্ষেত্রের **পজিটিভ মেরুর দিকে অনেকটা বেঁকে যায়, তাকে বিটা-রশ্মি বলে।** বিটাকণার ভর এবং ভরবেগ কম বলে তড়িৎ বা চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাবে নিজের স্বাভাবিক গতিপথ থেকে বেশি হেলে যায়।

(i) প্রকৃতি ঃ বিটা রশ্মি প্রকৃতপক্ষে কোনো রশ্মি নয়; নেগেটিভ চার্জযুক্ত ইলেকট্রন কণার স্রোত মাত্র।

(ii) বিটাকণার চার্জ ঃ যেহেতু কণাগুলি পজিটিভ মেরু দ্বারা আকৃষ্ট হয়ে পজিটিভ মেরুর দিকে বেঁকে যায়, এর দ্বারা প্রমাণিত হয় যে কণাগুলি **নেগেটিভ তড়িদ্‌গ্রস্ত।** প্রতিটি বিটা কণার চার্জ একটি ইলেকট্রনের চার্জের সমান অর্থাৎ এর নেগেটিভ তড়িতের পরিমাণ এক একক অর্থাৎ $4{\cdot}8 \times 10^{-10}$ e.s.u. বা, $1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ কুলম্ব।

(iii) ভর ঃ β-কণার ভর নগণ্য। 1টি H পরমাণুর ভরের (1/1836) গুণ মাত্র অর্থাৎ β-কণার ভর = 0·000548 a.m.u.

(iv) গতিবেগ ঃ এই কণাগুলির গতিবেগ সেকেন্ডে $2{\cdot}36 \times 10^8$ মি থেকে $2{\cdot}83 \times 10^8$ মি।

(v) গতিশক্তি ঃ β-কণার ভর নগণ্য তাই গতিবেগ অনেক বেশি হলেও **β-কণার গতিশক্তি α-কণার চেয়ে কম।**

(vi) গ্যাস আয়নিত করার ক্ষমতা ঃ ভর নগণ্য হওয়ার জন্য গ্যাসকে আয়নিত করার ক্ষমতা α-কণার চেয়ে কম।

(vii) প্রতিপ্রভা সৃষ্টি ঃ জিঙ্ক সালফাইড বা বেরিয়াম প্লাটিনোসায়ানাইড আস্তরণ যুক্ত পর্দায় প্রতিপ্রভা উৎপন্ন করে কিন্তু প্রতিপ্রভা সৃষ্টির ক্ষমতা α-কণার চেয়ে অনেক কম। β-কণা ফটোগ্রাফিক প্লেট আক্রমণ করে।

(viii) ভেদন ক্ষমতা ঃ ভর কম কিন্তু তীব্র গতিবেগের জন্য β-কণার ভেদন ক্ষমতা α-কণার চেয়ে অনেক বেশি। 5 মিমি পুরু অ্যালুমিনিয়াম পাত বিটা কণার গতি রোধ করতে পারে।

(ix) জীবদেহের উপর ক্রিয়া ঃ দেহের ভেতরে থাকা উৎস থেকে নির্গত β-কণার ভর এবং গতিশক্তি কম বলে, জীবদেহে ক্ষতি করার ক্ষমতা α-কণার চেয়ে কম। কিন্তু ভেদন ক্ষমতা বেশি হওয়ার জন্য বাইরে থেকে বর্ষিত এই কণার স্রোত জীবদেহে অত্যন্ত ক্ষতিসাধন করে।

(x) তেজস্ক্রিয় কোনো মৌলের নিউক্লিয়াস থেকে 1টি β-কণা নির্গত হলে, **পরমাণুটির ভর একই থাকে, কিন্তু চার্জ অর্থাৎ পারমাণবিক সংখ্যা এক একক বেড়ে যায়।** ফলে একই ভরবিশিষ্ট নতুন পরমাণুর সৃষ্টি হয়। যেমন,

$$(\text{থোরিয়াম})\ {}_{90}Th^{234} \xrightarrow{-\beta\text{-কণা}} {}_{91}Pa^{234}\ (\text{প্রোটোঅ্যাক্টিনিয়াম})$$

● **সাধারণ ইলেকট্রন ও β-কণার মধ্যে পার্থক্য ঃ**

β-কণার ভর এবং আধান, ইলেকট্রনের ভর ও আধানের সমান। তবে উভয়ের মধ্যে পার্থক্যগুলি হল—

(i) সাধারণ ইলেকট্রনগুলি পরমাণুর নিউক্লিয়াসের বাইরে নিউক্লিয়াসকে কেন্দ্র করে বিভিন্ন শক্তিবিশিষ্ট কক্ষে আবর্তন করে। অপরদিকে, তেজস্ক্রিয় পরমাণুর নিউক্লিয়াসে থাকা 1টি নিউট্রন কণা ($_0n^1$) রূপান্তরের ফলে 1টি প্রোটন ($_1p^1$) এবং 1টি ইলেকট্রন ($_{-1}e^0$) কণায় পরিণত হয়। এভাবে উৎপন্ন ইলেকট্রনটি উচ্চশক্তি সম্পন্ন হওয়ায়, β-কণা রূপে নিউক্লিয়াস থেকে তীব্র গতিতে বেরিয়ে আসে।

$$_0n^1 \rightarrow {}_1p^1 + {}_{-1}e^0 + \text{নিউট্রিনো}$$

(ii) কোনো নিস্তড়িত পরমাণু থেকে ইলেকট্রন বর্জিত হলে, পরমাণুটির নিউক্লিয়াসের কোনো পরিবর্তন হয় না—পরমাণুটি শুধু পজিটিভ তড়িদ্‌গ্রস্ত আয়নে পরিণত হয়—মূল মৌলটি কিন্তু একই থাকে।

নিউক্লিয়াস থেকে 1টি β-কণা বেরিয়ে গেলে পর, পরমাণুটির কেন্দ্রকে 1টি প্রোটন সংখ্যা বেড়ে যায়, তাই পরমাণু-ক্রমাংক বেড়ে যায়, ফলে পরমাণুটি অপর একটি নতুন মৌলের পরমাণুতে পরিণত হয়।

$$\text{Na} - e\ (\text{ইলেকট্রন}) \rightarrow \text{Na}^+ \qquad {}_{90}\text{Th}^{234} - {}_{-1}e^0\ (\beta\text{-কণা}) \rightarrow {}_{91}\text{Pa}^{234}$$

(iii) β--কণার আধান ও ভর সাধারণ ইলেকট্রনের আধান ও ভরের মতই, তবে ওদের উৎস বিভিন্ন।

(iv) সাধারণ ইলেকট্রনের চেয়ে β--কণার শক্তি ও গতিবেগ অনেক বেশি।

(3) গামা রশ্মি (γ-ray) ঃ

রাদারফোর্ডের পরীক্ষায় যে রশ্মিটি তড়িৎ বা চৌম্বকক্ষেত্র দ্বারা প্রভাবিত না হয়ে সোজা বেরিয়ে যায়, সেই রশ্মিটিকে গামা রশ্মি বলে।

(i) প্রকৃতি ঃ তড়িৎ বা চৌম্বকক্ষেত্র দ্বারা এই রশ্মি প্রভাবিত হয় না। এরদ্বারা প্রমাণিত হয় যে **গামা রশ্মি হল তড়িৎচুম্বকীয় বিকিরণ যার মধ্যে উচ্চ শক্তিসম্পন্ন ফোটন (Photon) বর্তমান থাকে।**

(ii) এই রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য অনেক কম—X-রশ্মির চেয়েও এর তরঙ্গদৈর্ঘ্য কম (10^{-11} মিটার থেকে 10^{-14} মিটার)।

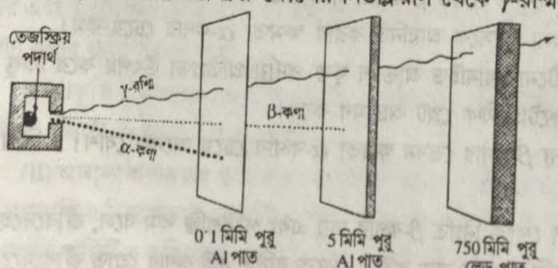
(iii) গতিবেগ ঃ এই রশ্মির গতিবেগ **আলোর গতিবেগের সমান অর্থাৎ 3×10^8 মিটার/সেকেন্ড।**

(iv) ভর এবং চার্জ ঃ যেহেতু γ-রশ্মি তড়িৎ বা চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা প্রভাবিত না হয়ে সোজা বেরিয়ে যায়, সুতরাং বলা যায় γ-রশ্মি **নিস্তড়িত, এর কোনো ভর নেই**—এটি হল অতি ক্ষুদ্র তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ। তেজস্ক্রিয় পরমাণু থেকে α-কণা বা β-কণা নির্গত হলে, পরমাণুটিতে কিছুটা বাড়তি শক্তির সঞ্চার হয়, যা তরঙ্গের আকারে γ-রশ্মি রূপে নির্গত হয়।

(v) গ্যাস আয়নিত করার ক্ষমতা ঃ চার্জ নেই বলে গামা রশ্মির গ্যাসকে **আয়নিত করার ক্ষমতা খুব কম।**

(vi) ভেদন ক্ষমতা ঃ γ-রশ্মির **ভেদন ক্ষমতা সবচেয়ে বেশি।** γ-রশ্মি 750 মিমি পুরু সিসার পাত ভেদ করে যেতে পারে।

(vii) কোনো তেজস্ক্রিয় মৌলের নিউক্লিয়াস থেকে γ-রশ্মি নির্গত হলে, পরমাণুটির ভর বা চার্জের কোনো পরিবর্তন হয় না—শুধু নিউক্লিয়াসটির অভ্যন্তরীণ শক্তি কমে যায়।



চিত্র 2.4 ঃ বিভিন্ন তেজস্ক্রিয় রশ্মির ভেদন ক্ষমতার তুলনা

(viii) প্রতিপ্রভা সৃষ্টি ঃ γ-রশ্মি প্রতিপ্রভা সৃষ্টি করতে পারে, β-রশ্মির চেয়ে বেশি করে ফটোগ্রাফিক প্লেট আক্রমণ করে।

(ix) ভেদন ক্ষমতা খুব বেশি বলে, বাইরে থেকে বর্ষিত গামা রশ্মি দেহের টিসু ভেদ করে দেহের অনেক ভেতরে ঢুকে যায়। তাই জীবদেহের উপর গামা রশ্মির ক্রিয়া মারাত্মক।

● **গামা রশ্মি ও এক্স রশ্মির ধর্মের মৌলিক পার্থক্য ঃ** এক্স রশ্মি এবং গামা রশ্মির ধর্মের পার্থক্যগুলি হল—

(i) উভয় প্রকার রশ্মিই একরকম তড়িৎচুম্বকীয় বিকিরণ, তবে γ-রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 10^{-11} থেকে 10^{-14} মিটার আর এক্স রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 10^{-9} থেকে 10^{-10} মিটার হয় অর্থাৎ γ-রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য এক্স রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্যের চেয়ে অনেক কম।

(ii) γ-রশ্মির ভেদন ক্ষমতা খুব বেশি—γ-রশ্মি 750 মিমি পুরু সিসার পাত ভেদ করতে পারে। এক্স রশ্মির ভেদন ক্ষমতা β-কণার চেয়ে বেশি হলেও γ-রশ্মির ভেদন ক্ষমতার চেয়ে কম।

(iii) জীবদেহে ক্ষতি করার ক্ষমতা এক্স রশ্মির চেয়ে গামা রশ্মির অনেক বেশি।

● α, β ও γ-রশ্মির ধর্মের তুলনা ঃ

ধর্ম	α-কণা $_2He^4$	β কণা $_{-1}e^0$	γ-রশ্মি
(1) প্রকৃতি	α-কণা হল—নির্দিষ্ট ভর বিশিষ্ট He^{++} আয়ন। α-রশ্মি হল α-কণার স্রোত।	β-রশ্মি হল উচ্চ গতিবেগ সম্পন্ন ইলেকট্রন কণার স্রোত।	γ রশ্মি হল একরকম তড়িৎচুম্বকীয় বিকিরণ, যার তরঙ্গ দৈর্ঘ্য সবচেয়ে কম (10^{-11}—10^{-14} মি)।
(2) ভর (H = 1 a.m.u)	প্রতিটি α-কণার ভর = 4 a.m.u. = $6{\cdot}642 \times 10^{-24}$ গ্রাম।	প্রতিটি β কণার ভর = $9{\cdot}108 \times 10^{-28}$ গ্রাম।	ভর নেই।
(3) তড়িৎ পরিমাণ	পজিটিভ তড়িৎ পরিমাণ 2 একক বা $9{\cdot}6 \times 10^{-10}$ e.s.u.	নেগেটিভ তড়িৎ পরিমাণ এক একক বা $4{\cdot}8 \times 10^{-10}$ e.s.u.	নিস্তড়িৎ।
(4) গতিশক্তি ও ভরবেগ (প্রারম্ভিক) α-রশ্মি > β-রশ্মি > γ-রশ্মি	ভর বেশি বলে α-কণার গতিশক্তি ও ভরবেগ সবচেয়ে বেশি।	β-কণার গতিবেগ অনেক বেশি হলেও, ভর অনেক কম বলে গতিশক্তি ও ভরবেগ α কণার চেয়ে কম।	ভরহীন বলে গতিশক্তি বা ভরবেগ নেই।
(5) গতিবেগ γ-রশ্মি > β-রশ্মি > α-রশ্মি	সেকেন্ডে 200,000 থেকে 30,000 কিমি।	সেকেন্ডে $2{\cdot}3 \times 10^8$ থেকে $2{\cdot}83 \times 10^8$ মি।	আলোকের গতিবেগ = 3×10^8 মি / সেকেন্ড।
(6) ভেদন ক্ষমতা γ-রশ্মি > β-রশ্মি > α-রশ্মি	ভেদন ক্ষমতা সবচেয়ে কম, 0·1 মিমি Al পাত এর গতি রোধ করে।	গতিবেগ বেশি এবং ভরও α কণার চেয়ে কম, এর ভেদন ক্ষমতা α কণার প্রায় 50 গুণ বেশি। 5 মিমি Al পাত এর গতিরোধ করে।	এর ভেদন ক্ষমতা সবচেয়ে বেশি। 750 মিমি পুরু সিসার পাত এই রশ্মির গতি রোধ করতে পারে না।
(7) গ্যাস আয়নিত করার ক্ষমতা α-রশ্মি > β-রশ্মি > γ-রশ্মি	α-কণার আধান সবচেয়ে বেশি। তাই আয়নিত করার ক্ষমতা সবচেয়ে বেশি।	গ্যাস আয়নিত করার ক্ষমতা α কণার চেয়ে কম, γ রশ্মির চেয়ে বেশি।	আধান নেই বলে গ্যাস আয়নিত করার ক্ষমতা সবচেয়ে কম।
(8) ফটোগ্রাফিক প্লেটের উপর ক্রিয়া	প্লেট নষ্ট করে।	প্লেট নষ্ট করে।	প্লেট নষ্ট করে।
(9) তড়িৎক্ষেত্র এবং চৌম্বকক্ষেত্রের প্রভাব	পজিটিভ তড়িদ্‌গ্রস্ত বলে তড়িৎ ও চৌম্বক ক্ষেত্রে নেগেটিভ মেরুর দিকে বেঁকে যায়—বিক্ষেপ কম হয়।	নেগেটিভ তড়িদ্‌গ্রস্ত বলে তড়িৎ ও চৌম্বক ক্ষেত্রে পজিটিভ মেরুর দিকে অনেকটা বেঁকে যায়।	নিস্তড়িত, তাই তড়িৎ বা চৌম্বকক্ষেত্রে γ রশ্মির কোনো বিক্ষেপ হয় না।
(10) ZnS পর্দার উপর ক্রিয়া α-রশ্মি > β-রশ্মি > γ-রশ্মি	উজ্জ্বল ঝলকের সৃষ্টি করে। α-রশ্মি অদৃশ্য হলেও এই ভাবে দৃশ্য আলোর সৃষ্টি করে।	উজ্জ্বল ঝলকের সৃষ্টি করে, যার উজ্জ্বলতা α কণার দ্বারা সৃষ্ট ঝলকের কম।	গামা রশ্মিদ্বারা সৃষ্ট ঝলকানি α বা β রশ্মিদ্বারা সৃষ্ট ঝলকানির চেয়ে কম হয়।
(11) জীবদেহের উপর ক্রিয়া	জীবকোশের ক্ষতি করে। ভর ও আধান বেশি বলে, দেহের ভেতরে থাকা কোনো উৎস থেকে নির্গত α-রশ্মির ক্ষতি করার ক্ষমতা সব চেয়ে বেশি। কিন্তু বাইরের উৎস থেকে নির্গত α-রশ্মি খুব কমই দেহের ভেতরে প্রবেশ করতে পারে—তাই ক্ষতির পরিমাণ কম হয়।	ভর নগণ্য এবং আধানও কম। দেহের ভেতরে থাকা কোনো উৎস থেকে নির্গত β-কণার ক্ষতি করার ক্ষমতা α-কণার চেয়ে কম। কিন্তু দেহের বাইরের কোনো উৎস থেকে নির্গত β-কণা দেহকে অনেক বেশি ভেদ করে বলে এর ক্ষতি করার ক্ষমতা α-কণার চেয়ে বেশি।	ভরহীন এবং আধানহীন বলে মানব দেহের বাইরের কোনো উৎস থেকে নির্গত γ রশ্মি দেহের উপর পড়লে γ রশ্মি দেহের টিসু ভেদ করে দেহের অনেক ভেতরে ঢুকে যায়। তাই এক্ষেত্রে γ রশ্মির দেহের ক্ষতি করার ক্ষমতা সর্বাধিক।

2.3. তেজস্ক্রিয় বিভাজন তত্ত্ব [Theory of radioactive disintegration]

এক পরমাণু থেকে নতুন পরমাণুর সৃষ্টি ঃ তেজস্ক্রিয় পদার্থের পরমাণুর কেন্দ্রক থেকে সব সময় স্বতঃস্ফূর্তভাবে α-কণা ও β-কণা বেরিয়ে আসে। এর ফলে তেজস্ক্রিয় মৌলের পরমাণুগুলির ভর এবং পারমাণবিক সংখ্যার পরিবর্তন হয়, ফলে মৌলটি অন্য এক পৃথক ধর্মবিশিষ্ট নতুন অপত্য মৌলে পরিণত হয়। এই অপত্য মৌলটি যদি তেজস্ক্রিয় হয় তাহলে ওর কেন্দ্রক থেকেও

তেজস্ক্রিয় রশ্মি নিঃসৃত হয়ে অন্য এক নতুন অপত্য মৌলে পরিণত হয়। এইভাবে তেজস্ক্রিয় বিভাজনের ফলে এক মৌল থেকে অন্য এক নতুন মৌলের রূপান্তর ঘটতে ঘটতে আদি মৌলটি শেষ পর্যন্ত একটি স্থায়ী এবং অতেজস্ক্রিয় মৌলে পরিণত হলে পর, আর তেজস্ক্রিয় বিকিরণ হয় না। পরমাণুর তেজস্ক্রিয় বিভাজনের গৌণ ফলস্বরূপ 'γ'-রশ্মি বিকিরিত হয়।

● সংজ্ঞা : ***স্বাভাবিক তেজস্ক্রিয় মৌলের কেন্দ্রক থেকে α অথবা β কণার নিঃসরণ দ্বারা এক মৌল থেকে অন্য অপত্য মৌলে রূপান্তরিত হতে হতে শেষে এক স্থায়ী অতেজস্ক্রিয় মৌলে পরিণত হওয়ার ঘটনাকে তেজস্ক্রিয় বিভাজন বলে।***

(a) কোনো তেজস্ক্রিয় মৌলের পরমাণুর কেন্দ্রক থেকে একটি আল্‌ফা কণা ($_2He^4$) বেরিয়ে গেলে মৌলটির ভরসংখ্যা 4 একক কমে যায় এবং পারমাণবিক সংখ্যা 2 একক কমে যায়। ভরসংখ্যা ও পারমাণবিক সংখ্যার পরিবর্তন হওয়ায় অপত্য মৌলটি নতুন এক মৌলে পরিণত হয়। যেমন, রেডিয়ামের ($_{88}Ra^{226}$) একটি পরমাণু থেকে 1টি α-কণা নিঃসৃত হলে রেডিয়াম পরমাণুর ভর 4 একক কমে যায় এবং চার্জ অর্থাৎ পরমাণু ক্রমাংক 2 একক কমে গিয়ে রেডন ($_{86}Rn^{222}$) পরমাণুতে পরিণত হয়।

$$_{88}Ra^{226} \xrightarrow{-\alpha\text{-কণা}} {}_{86}Rn^{222} \quad \text{বা,} \quad _{88}Ra^{226} \longrightarrow {}_{86}Rn^{222} + {}_2He^4 \ (\alpha\text{-কণা})$$

(b) তেজস্ক্রিয় মৌলের পরমাণুর কেন্দ্রক থেকে একটি β-কণা (ইলেকট্রন) নির্গত হলে মৌলটির ভরসংখ্যার কোনো পরিবর্তন হয় না (β-কণার ভর নগণ্য), কিন্তু পরমাণু ক্রমাঙ্ক এক একক বৃদ্ধি পাবে। কারণ হিসাবে বলা হয় যে, পজিটিভ তড়িদ্গ্রস্ত কণা প্রোটন এবং একটি ইলেকট্রন ($_{-1}e^0$) কণা যুক্ত হয়ে নিস্তড়িত নিউট্রন কণা তৈরি হয়। এখন নিউট্রন থেকে β-কণা অর্থাৎ ইলেকট্রন চলে গেলে নিউট্রনটি প্রোটনে পরিণত হয়। $_0n^1 \rightarrow {}_1p^1 + {}_{-1}e^0 +$ (নিউট্রিনো)।

এর ফলে কেন্দ্রকে 1টি নিউট্রন কমে যায়, 1টি প্রোটন কণার সংখ্যা বেড়ে যায় অর্থাৎ পারমাণবিক সংখ্যা এক একক বেড়ে যায়, ভরসংখ্যা কিন্তু একই থাকে। যেমন, থোরিয়াম ($_{90}Th^{234}$)-এর 1টি পরমাণু থেকে 1টি β-কণা ($_{-1}e^0$) নির্গত হলে ভরসংখ্যার কোনো পরিবর্তন না হলেও চার্জ অর্থাৎ পরমাণু ক্রমাংক আগের চেয়ে এক একক বেড়ে প্রোটো-অ্যাকটিনিয়াম পরমাণুতে পরিণত হয়।

$$_{90}Th^{234} \xrightarrow{-\beta\text{-কণা}} {}_{91}Pa^{234} \quad \text{বা,} \quad _{90}Th^{234} \longrightarrow {}_{91}Pa^{234} + {}_{-1}e^0 \ (\beta\text{-কণা})$$

(c) তেজস্ক্রিয় বিভাজনে পরমাণুর কেন্দ্রক থেকে α-কণা এবং β-কণা কখনোই একসঙ্গে নিঃসৃত হয় না। কোন্ তেজস্ক্রিয় মৌলের কেন্দ্রক থেকে α-কণা নিঃসৃত হবে আবার কোন্ তেজস্ক্রিয় মৌলের কেন্দ্রক থেকে β-কণার নিঃসরণ হবে তা নির্দিষ্ট থাকে।

(d) গামা (γ) রশ্মির বিকিরণ হয় কী করে : তেজস্ক্রিয় মৌলের কেন্দ্রক থেকে α বা β কণার নির্গমনের ফলে উৎপন্ন নূতন অপত্য মৌলের ভর ও শক্তির তারতম্য ঘটে। ফলে উৎপন্ন নতুন কেন্দ্রকটি উদ্দীপিত অবস্থায় থাকে। তখন ওই কেন্দ্রকটি সুস্থিত হওয়ার জন্য ওই অতিরিক্ত শক্তিকে γ-রশ্মি রূপে বিকিরিত করে দেয়। সুতরাং তেজস্ক্রিয় মৌলের কেন্দ্রক থেকে α বা β রশ্মির নিঃসরণ না হলে বুঝতে হবে কেন্দ্রকটি সুস্থিত আছে। **তাই কোনো তেজস্ক্রিয় মৌলের কেন্দ্রক থেকে α কণা বা β কণার নির্গমনের আগে গামা রশ্মি কখনো নির্গত হতে পারে না।** γ-রশ্মির নির্গমনে কোনো নূতন মৌলের সৃষ্টি হয় না, কেবল শক্তির পরিবর্তন ঘটে।

α-কণা বিকিরণের ফলে যে নতুন মৌল তৈরি হয় তার চার্জ 2 একক কমে যাওয়ার ফলে ওর কেন্দ্রকের বাইরের কক্ষে 2টি ইলেকট্রন বেশি থেকে যায়। ওই বাড়তি ইলেকট্রন পারিপার্শ্বিক বস্তুতে বর্জিত হয়ে ওই আয়নটি নিস্তড়িত পরমাণুতে পরিণত হয়। β-কণা বিকিরণের ফলে উৎপন্ন নতুন মৌলটির চার্জ এক একক বেড়ে যাওয়ায় ফলে ওর কেন্দ্রকের বাইরের কক্ষে একটি ইলেকট্রন কম থাকলেও, পরিবেশ থেকে ইলেকট্রন গৃহীত হয়ে আয়নটি নিস্তড়িত পরমাণুতে পরিণত হয়।

2.4. তেজস্ক্রিয় বিভাজনের হার—বিভাজন সূত্র, বিভাজন ধ্রুবক [Rate of Radioactive decay—law of radioactive decay, decay constant]

তেজস্ক্রিয় বিভাজনের হার : একক সময়ে ভেঙে যাওয়া পরমাণুর সংখ্যাকে তেজস্ক্রিয় বিভাজনের হার বলে। তেজস্ক্রিয় পদার্থের বিভাজনটি বিভাজন সূত্র মেনে চলে।

তেজস্ক্রিয় বিভাজন সূত্র (Law of radioactive decay)—***যে কোনো নির্দিষ্ট মুহূর্তে কোনো তেজস্ক্রিয় মৌলের তেজস্ক্রিয় বিভাজনের হার, ওই মুহূর্তে মৌলটির মধ্যে উপস্থিত পরমাণুর সংখ্যার সমানুপাতিক হয়।***

যদি N = কোনো নির্দিষ্ট মুহূর্তে উপস্থিত পরমাণুর সংখ্যা, t = সময়, বিভাজনের হার $-\frac{dN}{dt}$ = একক সময়ে ভেঙে যাওয়া পরমাণু সংখ্যা হয়, তাহলে, বিভাজন সূত্রানুযায়ী, $-\frac{dN}{dt} \propto N$ হয়, বা, $-\frac{dN}{dt} = \lambda N$ যেখানে λ = বিভাজন ধ্রুবক। $\frac{dN}{dt}$ এর আগে নেগেটিভ চিহ্নটি প্রকাশ করে যে, **সময়ের সঙ্গে সঙ্গে পরমাণুর সংখ্যা হ্রাস পায়।**

এই অনুপাত ধ্রুবক λ-কে **তেজস্ক্রিয় বিভাজন ধ্রুবক বা ভাঙন ধ্রুবক** বলে। বিভিন্ন মৌলের ক্ষেত্রে এর মান বিভিন্ন হয়।

$$\text{এখন, } \lambda N = \frac{-dN}{dt} \quad \text{বা, } \lambda = \frac{-dN/N}{dt} \quad \text{বা, } \boxed{\frac{-dN}{N} = \lambda dt} \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.1)$$

অর্থাৎ $\frac{dN}{N}$ তেজস্ক্রিয় মৌলের পরমাণুর সংখ্যার ভগ্নাংশ যা dt সময়ে ভেঙে যায়। সুতরাং $\lambda = \frac{-dN/N}{dt}$ = কোনো নির্দিষ্ট মুহূর্তে তেজস্ক্রিয় মৌলে উপস্থিত পরমাণুর ভগ্নাংশ যা একক সময়ে ভেঙে যায়। একেই বিভাজন ধ্রুবক বলে।

● **বিভাজন বা ভাঙন ধ্রুবক (λ) (Decay constant)—কোনো নির্দিষ্ট মুহূর্তে, কোনো তেজস্ক্রিয় আইসোটোপে উপস্থিত পরমাণুর ভগ্নাংশ যা একক সময়ে ভেঙে যায় ; তাকে ওই মৌলের বিভাজন ধ্রুবক বলে। বিভাজন ধ্রুবকের একক হল** সময়$^{-1}$। যেমন, সেকেন্ড$^{-1}$, মিনিট$^{-1}$, বৎসর$^{-1}$।

2.5. তেজস্ক্রিয় আইসোটোপের অর্ধায়ুকাল বা অর্ধজীবনকাল [Half life period of a radio isotope]

সংজ্ঞা ঃ *তেজস্ক্রিয় বিভাজনের ফলে, কোনো নির্দিষ্ট তেজস্ক্রিয় আইসোটোপের পরিমাণ বা পরমাণুর সংখ্যা, প্রারম্ভিক অবস্থার পরিমাণ বা পরমাণুর সংখ্যার ঠিক অর্ধেক হয়ে যেতে যত সময় লাগে, সেই সময়কালটিকে ওই নির্দিষ্ট তেজস্ক্রিয় আইসোটোপটির অর্ধায়ুকাল বা অর্ধজীবনকাল বলা হয়।*

অন্যভাবে বলা যায়, **কোনো নির্দিষ্ট মুহূর্তে, কোনো নির্দিষ্ট ভরের একটি তেজস্ক্রিয় মৌলে উপস্থিত পরমাণুগুলির অর্ধেক পরিমাণ বিভাজিত হতে যে সময় লাগে, সেই সময়কালটিকে ওই তেজস্ক্রিয় মৌলের অর্ধায়ুকাল বলে।**

যেমন 'কার্বনের তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ C^{14}-এর অর্ধায়ুকাল 5400 বছর'—এর দ্বারা বোঝায় যে, কোনো নির্দিষ্ট সময় 1 গ্রাম C^{14} থাকলে, ঠিক সেই সময় থেকে 5400 বৎসর পর 0·5 গ্রাম C^{14} অবশিষ্ট থাকে, বাকি 0·5 গ্রাম তেজস্ক্রিয় বিভাজনের ফলে বিভিন্ন অপত্য মৌলে পরিণত হয়। এই সময় থেকে আরও 5400 বৎসর পর 0·5/2 = 0·25 গ্রাম C^{14} অবশিষ্ট থাকবে।

● **তেজস্ক্রিয় বিভাজন ধ্রুবক এবং অর্ধায়ুকালের মধ্যে সম্পর্কটির গাণিতিক রূপ নীচে প্রকাশ করা হল—**

ধরি, N_0 = প্রাথমিক অবস্থায় মোট পরমাণুর সংখ্যা যখন $t = 0$ এবং t সময় পর ওই মৌলটির মধ্যে উপস্থিত অবশিষ্ট তেজস্ক্রিয় পরমাণুর সংখ্যা = N এখন, সমীকরণ (2.1) থেকে পাই, $\frac{dN}{N} = -\lambda dt$

সমীকরণটি ইনটিগ্রেট করে, $\int \frac{dN}{N} = \int -\lambda dt$ বা, $\ln N = -\lambda t + c$ (c হল ইনটিগ্রেশন ধ্রুবক) … … (2.2)

পর্যবেক্ষণের শুরুতে যখন $t = 0$ হয়, পরমাণুর সংখ্যা = N_o $\therefore \ln N_o = 0 + c$ বা, $c = \ln N_o$

এখন c-এর মান (2.2) নং সমীকরণে বসিয়ে, $\ln N = -\lambda t + \ln N_o$ বা, $\ln N - \ln N_o = -\lambda t$

$$\text{বা, } \ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t \quad \text{বা, } \frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t} \quad \text{বা, } N = N_0 e^{-\lambda t} \ldots \quad \ldots \quad (2.3)$$

এখন $\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t$, $\log_{10}$-এ পরিবর্তিত করে পাই, $2{\cdot}303 \log \frac{N}{N_0} = -\lambda t$ বা, $\log \frac{N_o}{N} = \frac{\lambda t}{2{\cdot}303}$

$$\text{বা, } \boxed{\lambda = \frac{2{\cdot}303}{t} \log \frac{N_0}{N}} \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.4)$$

অর্থাৎ তেজস্ক্রিয় পরমাণুর সংখ্যা N, সময়ের সঙ্গে সঙ্গে কমতে থাকে।

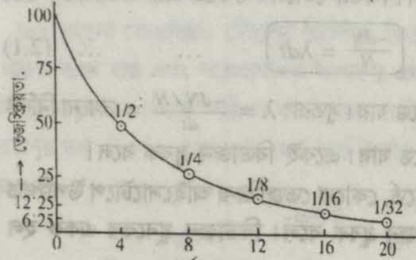
এখন অর্ধায়ুকালের সংজ্ঞানুসারে, $N = N_o/2$ এবং $t = T$ অর্ধায়ুকাল হলে

(2.3) নং সমীকরণে মানগুলি বসিয়ে পাই, $N_o/2 = N_o e^{-\lambda T}$ বা, $\ln 1 - \ln 2 = -\lambda T$ বা, $\ln 2 = \lambda T$

$$\text{বা, } T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{2{\cdot}303 \log 2}{\lambda} = \frac{2{\cdot}303 \times 0{\cdot}3010}{\lambda} = \frac{0{\cdot}693}{\lambda} \quad \text{বা, } \boxed{T \text{ (অর্ধায়ুকাল)} = \frac{0{\cdot}693}{\lambda}} \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.5)$$

$T = 0{\cdot}693/\lambda$ এই সম্পর্ক থেকে T বা λ-এর যে কোনো একটির মান জানা থাকলে অপরটির মান জানা যায়। সমীকরণ (2.5)-এর সাহায্যে কোনো তেজস্ক্রিয় পদার্থের বয়স নির্ণয় করা যায়।

● **অর্ধায়ুকালের বৈশিষ্ট্য ঃ (i)** কোনো নির্দিষ্ট তেজস্ক্রিয় আইসোটোপের অর্ধায়ুকালের মান স্থির। বিভিন্ন তেজস্ক্রিয় আইসোটোপের অর্ধায়ুকালের মান বিভিন্ন হয়।



চিত্র 2.5 ঃ তেজস্ক্রিয় ভাঙন সূত্রের লেখ

(ii) কোনো তেজস্ক্রিয় আইসোটোপের অর্ধায়ুকালের মান খুব বেশি হতে পারে আবার খুব কমও হতে পারে, যেমন $_{92}U^{238}$-এর অর্ধায়ুকাল $= 4{\cdot}5\times10^9$ বৎসর, এবং $_{84}Po^{212}$-এর অর্ধায়ুকাল 3×10^{-7} সেকেন্ড মাত্র।

(iii) কোনো নির্দিষ্ট তেজস্ক্রিয় আইসোটোপের অর্ধায়ুকালের মান শুধু তেজস্ক্রিয় বিভাজন ধ্রুবক λ-এর উপর নির্ভর করে— তেজস্ক্রিয় পদার্থের প্রাথমিক পরিমাণের উপর নির্ভর করে না। যেমন, কোনো তেজস্ক্রিয় পদার্থের 1 গ্রাম বিভাজিত হয়ে 0·5 গ্রামে পরিণত হতে যে সময় লাগে, ওই পদার্থের 4 গ্রাম বিভাজিত হয়ে 2 গ্রামে পরিণত হতে সেই একই সময় লাগে।

(iv) তেজস্ক্রিয় আইসোটোপগুলির মধ্যে যার অর্ধায়ুকাল কম, সেটি অপেক্ষাকৃত দ্রুত বিভাজিত হয় কারণ,
বিভাজন হার = 1/অর্ধায়ুকাল

(v) যে তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধায়ুকাল বেশি, তার বিভাজনের হার কম হয়, তাই মানবদেহের পক্ষে কম ক্ষতিকর, কিন্তু যে তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধায়ুকাল কম, তার বিভাজনের হার খুব বেশি বলে সেটি বেশি ক্ষতিকর।

(vi) লেখচিত্রে X-অক্ষে অর্ধায়ুকাল এবং Y-অক্ষে তেজস্ক্রিয়তার মান বসিয়ে যে লেখটি পাওয়া যায়, তা প্রমাণ করে যে তেজস্ক্রিয়তা পৃথিবী থেকে কোনোদিনই শেষ হয়ে যাবে না।

● **তেজস্ক্রিয়তা পরিমাপের একক ঃ** কোনো তেজস্ক্রিয় মৌল থেকে প্রতি সেকেন্ডে $3{\cdot}7\times10^{10}$ সংখ্যক পরমাণুর তেজস্ক্রিয় বিভাজন হলে, ওই তেজস্ক্রিয় মৌলটির তেজস্ক্রিয়তার পরিমাণকে **1 কুরি** (1 c) বলে।

অর্থাৎ **1 কুরি** = সেকেন্ডে $3{\cdot}7\times10^{10}$ সংখ্যক পরমাণুর তেজস্ক্রিয় বিভাজন $= 3{\cdot}7\times10^{10}$ **d.p.s.**, **1 মিলিকুরি** $= 3{\cdot}7\times10^{7}$ d.p.s., **1 মাইক্রোকুরি** $= 3{\cdot}7\times10^{4}$d.p.s.

রাদারফোর্ড হল, তেজস্ক্রিয়তার অপর একক। 1 রাদারফোর্ড = সেকেন্ডে 10^6 সংখ্যক পরমাণুর বিভাজন।

তেজস্ক্রিয়তা পরিমাপের **S.I. একক হল বেকরেল। 1 বেকরেল** = 1 বিভাজন/সেকেন্ড

জীবকোশে প্রয়োগের ক্ষেত্রে তেজস্ক্রিয়তার একক হল RAD—যে তেজস্ক্রিয়তা প্রতি কেজি টিসুতে 1×10^7 জুল পরিমাণ শক্তি বিকিরণ করে তাকে 1 RAD বলে। আজকাল REM একক ব্যবহার করা হয়। 1 REM হল γ রশ্মির পরিমাণ, যা 100 আর্গ শক্তি প্রতি গ্রাম টিসুতে চালনা করে।

● ***x*-তম অর্ধায়ুকাল পরে, তেজস্ক্রিয় বিভাজনে বিভাজিত এবং অবিভাজিত তেজস্ক্রিয় আইসোটোপের পরমাণুর সংখ্যা নির্ণয় ঃ** ধরি, কোনো এক সময়ে কোনো তেজস্ক্রিয় আইসোটোপের প্রাথমিক পরমাণু সংখ্যা $= N_o$ এবং t সময় পর আইসোটোপটির N সংখ্যক পরমাণু অবিভাজিত থাকে। সুতরাং t সময়ে বিভাজিত পরমাণু সংখ্যা $= (N_o - N)$, অর্ধায়ুকাল $= T$.

ধরি, তেজস্ক্রিয় পদার্থটির **অর্ধায়ুকাল সংখ্যা** $= x$, সুতরাং অর্ধায়ুকাল সংখ্যা $x = t/T$. বা, $x\,T = t$.

এখন, **প্রথম অর্ধায়ুকাল** পরে, তেজস্ক্রিয় পদার্থটির $N_o/2$ সংখ্যক পরমাণু অবিভাজিত অবস্থায় থাকবে।

সুতরাং বিভাজিত পরমাণুর সংখ্যা $= N_o - N_o/2 = N_o/2$

দ্বিতীয় অর্ধায়ুকাল পর, অবিভাজিত পরমাণু সংখ্যা $= N_o/4 = (1/2)^2 N_o$

সুতরাং বিভাজিত পরমাণুসংখ্যা $= N_o - N_o/4 = 3/4\ N_o$

তৃতীয় অর্ধায়ুকাল পরে, অবিভাজিত পরমাণুসংখ্যা $= \frac{N_o}{8} = \left(\frac{1}{2}\right)^3 N_o$ অর্থাৎ বিভাজিত পরমাণুসংখ্যা $= N_o - \frac{N_o}{8} = \frac{7}{8} N_o$.

সুতরাং x-তম অর্ধায়ুকাল পরে তেজস্ক্রিয় আইসোটোপটির অবিভাজিত পরমাণুসংখ্যা $N = \left(\frac{1}{2}\right)^x N_o = \frac{N_o}{2^x}$

$\therefore$ পদার্থটির বিভাজিত পরমাণুসংখ্যা $= N_o - \frac{N_o}{2^x} = N_o\left(1 - \frac{1}{2^x}\right)$ ... ... (2.6)

● **তেজস্ক্রিয়-অবক্ষয় সারি ঃ** স্বাভাবিক তেজস্ক্রিয় মৌলগুলির প্রত্যেকেই মাত্র তিনটি তেজস্ক্রিয় সারির কোনো একটির সদস্য। প্রত্যেকটি সারি আরম্ভ হয় উচ্চ অর্ধায়ুকাল সম্পন্ন জনক মৌল দ্বারা, যার কেন্দ্রক থেকে পর পর α অথবা β কণার নির্গমনের মাধ্যমে প্রতিটি সারির ক্ষেত্রেই শেষ পরিণতিরূপে লেডের একটি সুস্থিত অতেজস্ক্রিয় আইসোটোপে পরিণত হয়। তাই স্বাভাবিক তেজস্ক্রিয় মৌলগুলির ক্ষেত্রে তিনটি স্বাভাবিক তেজস্ক্রিয় অবক্ষয় সারি আছে—

(1) ইউরেনিয়াম সারি বা (4n+2) সারি ঃ ${}_{92}U^{238}$ থেকে আরম্ভ করে মোট 8টি α-কণা এবং 6টি β-কণা নিঃসরণ করে শেষ পর্যন্ত অতেজস্ক্রিয় ${}_{82}Pb^{206}$-এ রূপান্তরিত হয়ে সুস্থিত হয়। **এইভাবে যে তেজস্ক্রিয় সারির সৃষ্টি হয়, তার প্রতিটি সদস্যের ভরসংখ্যাকে 4 দিয়ে ভাগ করলে সব ক্ষেত্রে 2 ভাগশেষ থাকে।** এজন্য এই সারিটিকে **(4n+2)** সারি বলা হয়।

$$\underset{4{\cdot}5\times10^7\text{ বৎসর}}{{}_{92}\mathbf{U}^{238}} \xrightarrow{\alpha} \underset{14{\cdot}5\text{ দিন}}{{}_{90}\mathbf{Th}^{234}} \xrightarrow{\beta} \underset{1{\cdot}1\text{ মি}}{{}_{91}\mathbf{Pa}^{234}} \xrightarrow{\beta} \underset{2{\cdot}7\times10^5\text{ বৎসর}}{{}_{92}\mathbf{U}^{234}} \xrightarrow{\alpha} \underset{8{\cdot}3\times10^3\text{ বৎসর}}{{}_{90}\mathbf{Th}^{230}} \xrightarrow{\alpha} \underset{1590\text{ বৎসর}}{{}_{88}\mathbf{Ra}^{226}} \xrightarrow{\alpha} \underset{3{\cdot}8\text{ দিন}}{{}_{86}\mathbf{Rn}^{222}}$$

$$\xrightarrow{\alpha} \underset{3\text{ মি}}{{}_{84}\mathbf{Po}^{218}} \xrightarrow{\alpha} \underset{26{\cdot}0\text{ মি}}{{}_{82}\mathbf{Pb}^{214}} \xrightarrow{\beta} \underset{19{\cdot}7\text{ মি}}{{}_{83}\mathbf{Bi}^{214}} \xrightarrow{\beta} \underset{1{\cdot}3\times10^{-7}\text{ সে.}}{{}_{84}\mathbf{Po}^{214}} \xrightarrow{\alpha} \underset{22\text{ বৎসর}}{{}_{82}\mathbf{Pb}^{210}} \xrightarrow{\beta} \underset{5\text{ দিন}}{{}_{83}\mathbf{Bi}^{210}} \xrightarrow{\beta} \underset{140\text{ দিন}}{{}_{84}\mathbf{Po}^{210}} \xrightarrow{\alpha} {}_{82}\mathbf{Pb}^{206}$$

${}_{82}\mathbf{Pb}^{206}$ লেড (সুস্থিত)

(2) থোরিয়াম সারি বা 4n সারি—${}_{90}Th^{232}$ থেকে আরম্ভ করে অতেজস্ক্রিয় এবং সুস্থিত আইসোটোপ ${}_{82}Pb^{208}$-এ গিয়ে শেষ হয়। এর প্রতিটি সদস্যের ভরসংখ্যাকে 4 দিয়ে ভাগ করলে কোনো ভাগশেষ থাকে না।

(3) অ্যাক্টিনিয়াম সারি বা (4n + 3) সারি— ${}_{92}U^{235}$ থেকে আরম্ভ করে অতেজস্ক্রিয় এবং সুস্থিত আইসোটোপ ${}_{82}Pb^{207}$-এ গিয়ে শেষ হয়। প্রতিটি সদস্যের ভরসংখ্যাকে 4 দিয়ে ভাগ করলে প্রতিক্ষেত্রে 3 অবশিষ্ট থাকে।

এইগুলি ছাড়া, নেপচুনিয়াম সারি বা (4n + 1) সারি আছে যা ${}_{93}Np^{237}$ থেকে শুরু করে ${}_{83}Bi^{209}$-তে গিয়ে শেষ হয়।

● ${}_{82}Pb^{210}$, ${}_{82}Pb^{208}$, ${}_{82}Pb^{206}$**—এই তিনটি আইসোটোপের মধ্যে** ${}_{90}Th^{232}$ **দিয়ে যে তেজস্ক্রিয় সারি আরম্ভ, তার শেষ সদস্য কোন্‌টি তা এই ভাবে জানা যায়—**ভরসংখ্যার পরিবর্তন নির্ভর করে α-কণার নির্গমনের জন্য। 1টি α-কণার ভর 4 একক। সুতরাং ${}_{90}Th^{232}$ এবং লেডের যে আইসোটোপটির ভরসংখ্যার অন্তরফল 4 দ্বারা বিভাজ্য হবে সেই আইসোটোপটি হবে এই তেজস্ক্রিয় সারির শেষ সদস্য। ${}_{82}Pb^{210}$ বা ${}_{82}Pb^{206}$ এর ক্ষেত্রে দেখা যায় এই ভরসংখ্যার অন্তরফল হয় যা 4 দ্বারা বিভাজ্য নয়। কিন্তু ${}_{82}Pb^{208}$ আইসোটোপের ক্ষেত্রে এই ভরসংখ্যার অন্তরফল = (232 – 208) = 24 হয় যা 4 দ্বারা বিভাজ্য। সুতরাং ${}_{90}Th^{232}$ দিয়ে যে তেজস্ক্রিয় সারিটির আরম্ভ, তার শেষ সদস্য হল ${}_{90}Pb^{208}$।

● **তেজস্ক্রিয় পদার্থের খনিতে প্রায়ই হিলিয়াম গ্যাস পাওয়া যায়, কারণ তেজস্ক্রিয় পরমাণুর নিউক্লিয়াস থেকে অবিরাম** গতিতে স্ফতঃস্ফূর্তভাবে α-কণার বিকিরণ হয়। α-কণা হল He^{2+} আয়ন। খনিতে তেজস্ক্রিয় মৌলের নিউক্লিয়াস থেকে এই α-কণা অর্থাৎ He^{2+} আয়ন মুক্ত হয়ে বায়ু থেকে 2টি ইলেকট্রন গ্রহণ করে হিলিয়াম পরমাণুতে পরিণত হয়। $He^{2+} + 2e = He$। এইভাবে অসংখ্য α-কণা থেকে হিলিয়াম পরমাণুর সৃষ্টি হয় বলে তেজস্ক্রিয় মৌলের খনিতে হিলিয়াম গ্যাস পাওয়া যায়।

● **সব তেজস্ক্রিয় পদার্থের খনিতে লেড ধাতু পাওয়া যায়, কারণ তিনটি প্রাকৃতিক তেজস্ক্রিয় শ্রেণির শেষ পরিণতি হল** লেড। ইউরেনিয়াম শ্রেণির ${}_{92}U^{238}$ থেকে আরম্ভ করে তেজস্ক্রিয় ভাঙনের ফলে শেষ পর্যন্ত ${}_{82}Pb^{206}$-এ এসে স্থিত হয়।

অ্যাক্টিনিয়াম শ্রেণির $_{92}U^{235}$ থেকে আরম্ভ করে, শেষ পর্যন্ত $_{82}Pb^{207}$-তে এসে স্থিত হয়। থোরিয়াম শ্রেণিও $_{90}Th^{232}$ থেকে আরম্ভ করে $_{82}Pb^{208}$-তে এসে স্থিত হয়। এর ফলে প্রকৃতির মধ্যে লেডের পরিমাণ ক্রমে বেড়ে চলেছে।

● **গাণিতিক উদাহরণ** (Numerical examples)

(1) ***$_{92}U^{238}$-এর বিভাজন ধ্রুবকের মান $1{\cdot}52 \times 10^{-10}$/বৎসর হলে, $_{92}U^{238}$-এর অর্ধায়ুকাল নির্ণয় করো।***

Ans. ধরি, তেজস্ক্রিয় আইসোটোপটির অর্ধায়ুকাল = T বৎসর, বিভাজন ধ্রুবক $\lambda = 1{\cdot}52 \times 10^{-10}$/বৎসর

সুতরাং অর্ধায়ুকাল $T = \frac{0{\cdot}693}{\lambda} = \frac{0{\cdot}693}{1{\cdot}52 \times 10^{-10}} = \mathbf{4{\cdot}56 \times 10^9}$ **বৎসর।**

(2) একটি তেজস্ক্রিয় পদার্থের 3/4 পরিমাণ ভেঙে যায় 2 ঘণ্টায়। মৌলটির অর্ধায়ুকাল কত?

Ans. এখানে $N_o = 1$, অবশিষ্ট $N = 1 - 3/4 = 1/4$; ধরি ভরের এই হ্রাস ঘটে n-সংখ্যক অর্ধায়ুকালে।

$\therefore N = N_o\,(1/2)^n$ বা $1/4 = 1 \times (1/2)^n$ বা $2^n = 4 = 2^2$ $\therefore n = 2$

মোট সময় = 2 ঘণ্টা = 2টি অর্ধায়ুকাল ∴ অর্ধায়ুকাল = **1 ঘণ্টা।**

(3) রেডনের অর্ধায়ুকাল = 3·8 দিন। কতসময়ে রেডনের 1/20 অংশ পরিমাণ অবিকৃত অবস্থায় পড়ে থাকবে?

Ans. আমরা জানি, অর্ধায়ুকাল = T হলে, ভাঙন ধ্রুবক $\lambda = \frac{0{\cdot}693}{T} = \frac{0{\cdot}693}{3{\cdot}8}$ দিন$^{-1}$ = 0·182 দিন$^{-1}$

ধরি, প্রাথমিক পরিমাণ $(N_o) = x$ সুতরাং শর্তানুযায়ী $N_t = x/20$

$\therefore t$ (সময়) $= \frac{2{\cdot}303}{\lambda} \log\frac{N_o}{N_t} = \frac{2{\cdot}303}{0{\cdot}182}\log\frac{x}{x/20} = \frac{2{\cdot}303}{0{\cdot}182}\log 20 = \mathbf{16{\cdot}46}$ **দিন।**

(4) 2 বছর অর্ধায়ুকাল বিশিষ্ট একটি তেজস্ক্রিয় পদার্থের 1 গ্রাম পরিমাণ নমুনা 6 বৎসর যাবৎ সংরক্ষণ করা হয়েছে। 6 বৎসর পর ওই নমুনায় মূল তেজস্ক্রিয় পদার্থের কত পরিমাণ অপরিবর্তিত থাকবে?

Ans. 6 বৎসরে অর্ধায়ুকালের সংখ্যা = $\frac{6 \text{ বৎসর}}{2 \text{ বৎসর}} = 3$

এই তিনটি অর্ধায়ুকাল পর তেজস্ক্রিয় পদার্থটির যা অবশিষ্ট থাকে তার পরিমাণ = $(1/2)^3 \times 1 = \mathbf{0{\cdot}125}$ **গ্রাম।**

(5) একটি বন্ধ পাত্রের মধ্যে 10 গ্রাম-পরমাণু পরিমাণ একটি তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ থেকে α-রশ্মি বিকিরিত হচ্ছে। এক ঘণ্টা বিকিরণের ফলে STP-তে 11·2 cm³ He পাওয়া গেল। তেজস্ক্রিয় আইসোটোপটির অর্ধায়ুকাল নির্ণয় করো।

Ans. 1 ঘণ্টায় নির্গত He গ্যাসের আয়তন S.T.P.-তে = 11·2 cm³, পদার্থটির অণুর সংখ্যা $N = 10 \times 6{\cdot}023 \times 10^{23}$

S.T.P.-তে 22400 cm³ He গ্যাসের মধ্যে পরমাণুর সংখ্যা = $6{\cdot}023 \times 10^{23}$

" 11·2 cm³ " " " " " $= \frac{6{\cdot}023 \times 10^{23} \times 11{\cdot}2}{22400} = 3{\cdot}01 \times 10^{20}$

সুতরাং 1 ঘণ্টায় সংগৃহীত He পরমাণুর সংখ্যা, অর্থাৎ He-এর বিভাজনের হার $dN/dt = 3{\cdot}01 \times 10^{20}$ ঘণ্টা$^{-1}$

এখন $\frac{dN}{dt} = \lambda N$ সুতরাং $3{\cdot}01 \times 10^{20} = \lambda \times 10 \times 6{\cdot}023 \times 10^{23}$

বা, $\lambda = \frac{3{\cdot}01 \times 10^{20}}{10 \times 6{\cdot}023 \times 10^{23}} = 0{\cdot}0499 \times 10^{-3}$ ঘণ্টা$^{-1}$

আমরা জানি, অর্ধায়ুকাল $T = \frac{0{\cdot}693}{\lambda} = \frac{0{\cdot}693}{0{\cdot}0499 \times 10^{-3}} = 13887{\cdot}8$ ঘণ্টা = **1·58 বৎসর।**

(6) C^{14} পরমাণুর পরিমাণ নির্ণয় করো যা প্রতি সেকেন্ডে $3{\cdot}7 \times 10^7$ বিভাজন করে। C^{14}-এর অর্ধ জীবনকাল = 5720 বৎসর।

Ans. $\lambda = \frac{0{\cdot}693}{T} = \frac{0{\cdot}693}{5720 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60} = 3{\cdot}84 \times 10^{-12}$ সেকেন্ড$^{-1}$ (T = অর্ধায়ুকাল)

এখন $\frac{-dN}{dt} = \lambda N$. ধরি, C^{14} এর পরিমাণ = W গ্রাম সুতরাং $\frac{dN}{dt} = \lambda \times \frac{W}{14} \times 6{\cdot}023 \times 10^{23}$

সুতরাং $3{\cdot}7 \times 10^7 = 3{\cdot}84 \times 10^{-12} \times \frac{W}{14} \times 6{\cdot}023 \times 10^{23}$

বা, $W = \frac{3{\cdot}7 \times 10^7 \times 14}{3{\cdot}84 \times 10^{-12} \times 6{\cdot}023 \times 10^{23}} = \mathbf{2{\cdot}239 \times 10^{-4}}$ **গ্রাম**

(7) তোমার কাছে 0·1 গ্রাম-পরমাণু পরিমাণ একটি তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ আছে যার অর্ধ জীবনকাল = 5 দিন। একাদশ দিনে কত সংখ্যক পরমাণুর ভাঙন হবে?

Ans. তেজস্ক্রিয় আইসোটোপের পরিমাণ = 0·1 গ্রাম-পরমাণু, অর্ধায়ুকাল $T = 5$ দিন,

$N_o = 0{\cdot}1 \times 6{\cdot}023 \times 10^{23} = 6{\cdot}023 \times 10^{22}$ সংখ্যক পরমাণু

5 দিনে পরমাণুর সংখ্যা = $\frac{6 \cdot 023 \times 10^{22}}{2}$, সুতরাং 10 দিনে পরমাণুর সংখ্যা = $\frac{6{\cdot}023 \times 10^{22}}{2 \times 2} = 1{\cdot}505 \times 10^{22}$

11 দিনে পরমাণুর সংখ্যা = $N_o e^{\lambda t} = 6{\cdot}023 \times 10^{22} e^{\frac{-0{\cdot}693 \times 11}{5}} = 1{\cdot}31 \times 10^{22}$

$\therefore$ একাদশ দিনে পরমাণুর ভাঙনের সংখ্যা = $(1{\cdot}505 \times 10^{22} - 1{\cdot}31 \times 10^{22}) = \mathbf{1{\cdot}95 \times 10^{21}}$

(8) একটি তেজস্ক্রিয় আইসোটোপের অর্ধায়ুকাল 100 সেকেন্ড। তেজস্ক্রিয় মৌলটির বিঘটন ধ্রুবকের মান নির্ণয় করো। কতসময়ে ওই মৌলটির 1 গ্রাম পরিমাণ 0˙01 গ্রামে পরিণত হবে নির্ণয় করো।

Ans. আমরা জানি, T = অর্ধায়ুকাল এবং λ = বিঘটন ধ্রুবক হলে,

$T = \frac{0˙693}{\lambda}$ বা, $100 = \frac{0˙693}{\lambda}$ বা, $\lambda = \frac{0˙693}{100} = 6˙93 \times 10^{-3}$/সেকেন্ড,

আবার, সময় = t হলে, $t = \frac{2˙303}{\lambda} \log \frac{N_o}{N}$ এখানে $\frac{N_0}{N} = \frac{1}{0˙01} = 100$

$\therefore$ সময় $t = \frac{2˙303}{6˙93 \times 10^{-3}} \log 100 = \frac{2˙303 \times 2}{6˙93 \times 10^{-3}} = 664˙64$ সেকেন্ড = **11˙08 মিনিট**

(9) এক ঘণ্টা পর একটি তেজস্ক্রিয় পদার্থের প্রাথমিক পরিমাণের 15/16 অংশ বিভাজিত হয়। তেজস্ক্রিয় পদার্থটির অর্ধায়ুকাল কত হবে?

Ans. আমরা জানি $\lambda = \frac{2 \cdot 303}{t} \log \frac{N_0}{N}$ ধরি, পদার্থটির প্রাথমিক পরিমাণ $N_0 = x$,

$\therefore$ 1 ঘণ্টা পর অবশিষ্ট পদার্থের পরিমাণ $N = x - \frac{15x}{16} = x/16$, $t = 1$ ঘণ্টা

$\therefore \lambda = \frac{2{\cdot}303}{1} \log \frac{x}{x/16} = 2{\cdot}303 \log 16 = 2{\cdot}303 \times 1{\cdot}204 = 2{\cdot}773$/ ঘণ্টা

$\therefore$ অর্ধায়ুকাল $T = \frac{0{\cdot}693}{\lambda} = \frac{0{\cdot}693}{2{\cdot}773} = 0{\cdot}25$ ঘণ্টা

(10) প্রাচীনকালে নির্মিত একটি চেয়ারের কাঠে যে পরিমাণ C-14 তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ থাকে, বর্তমানে তার তেজস্ক্রিয়তা 80% দেখায়। চেয়ারের কাঠের বয়স নির্ণয় করো। C-14-এর অর্ধায়ুকাল 5770 বৎসর।

Ans. ধরি, চেয়ারের কাঠে প্রাথমিক অবস্থায় উপস্থিত C-14 এর পরিমাণ = x

বর্তমানে চেয়ারের কাঠে উপস্থিত C-14 এর পরিমাণ $= \frac{80 \times x}{100} = 0˙8x$

ধরি t সময় C-14 আইসোটোপের পরিমাণ x থেকে $0˙8\,x$ হয়।

অর্ধায়ুকাল $T = \frac{0˙693}{\lambda}$ যেখানে λ = বিঘটন ধ্রুবক $\lambda = \frac{0˙693}{T} = \frac{0˙693}{5770} = 1˙201 \times 10^{-4}$/বৎসর

আমরা জানি $\lambda = \frac{2˙303}{t} \log \frac{N_o}{N}$ বা, $t = \frac{2˙303}{1˙201 \times 10^{-4}} \log \frac{x}{0˙8x}$ বা, $t = \frac{2˙303 \times 0˙0969}{1˙201 \times 10^{-4}} = \mathbf{1858}$ **বৎসর**

(11) দেহের মধ্যে রোগের উৎস অনুসন্ধানের জন্য রক্তবাহী শিরায় 2˙0 মাইক্রোগ্রাম তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ P-32 ইনজেক্ট করা হল। P-32 এর অর্ধায়ুকাল = 14 দিন। দেহের মধ্যে কত সময়ে তেজস্ক্রিয়তা কমে প্রাথমিক অবস্থার 10% হবে?

Ans. অর্ধায়ুকাল $T = \frac{0\cdot693}{\lambda}$ বা, $\lambda = \frac{0\cdot693}{14} = 0\cdot0495$/দিন

ধরি t সময় তেজস্ক্রিয়তা কমে পূর্বের 10% হয়।

$\therefore\ t = \frac{2\cdot303}{\lambda} \log \frac{N_o}{N}$ বা, $t = \frac{2\cdot303}{0\cdot0495} \log \frac{100}{10}$ বা, $t = 46\cdot5$ **দিন**

(12) Po^{210}-এর অর্ধায়ুকাল 140 দিন। এক গ্রাম পরিমাণ Po^{210}-এর প্রতি সেকেন্ডে কটি বিঘটন ঘটবে?

Ans. 210 গ্রাম Po^{210}-এর মধ্যে পরমাণুর সংখ্যা $= 6\cdot023 \times 10^{23}$

1 গ্রাম " " " " " $\frac{6\cdot023 \times 10^{23}}{210} = 2\cdot868 \times 10^{21}$

Po^{210}-এর অর্ধায়ুকাল = 140 দিন = $140 \times 24 \times 60 \times 60$ সেকেন্ড।

T = অর্ধায়ুকাল হলে ভাঙন ধ্রুবক $\lambda = \frac{0\cdot693}{T} = \frac{0\cdot693}{140 \times 24 \times 3600}$/সেকেন্ড বা, $\lambda = 5\cdot73 \times 10^{-8}$/সেকেন্ড

বিঘটনের হার $= \frac{dN}{dt}$ হলে $\frac{dN}{dt} = \lambda N$

$\therefore$ বিঘটনের হার $\frac{dN}{dt} = 5\cdot73 \times 10^{-8} \times 2\cdot868 \times 10^{21} = 164 \times 10^{12}$/সেকেন্ড।

2.6. পরমাণু কেন্দ্রক বা নিউক্লিয়াসের সুস্থিরতা—তেজস্ক্রিয়তার কারণ [Stability of atomic nucleus—causes of radioactivity]

ইউকাওয়ার (Yukawa) মেসন ক্ষেত্রতত্ত্ব ঃ বর্তমান বিজ্ঞানীদের মতে পরমাণুর নিউক্লিয়াসের মধ্যে **মেসন** নামে একরকম কণার অবিরাম আদান-প্রদানের ফলে **নিউক্লিয় বলের** সৃষ্টি হয়। মেসন কণা তড়িৎযুক্ত (π^- এবং π^+) বা নিস্তড়িত (π^0) হতে পারে। চার্জযুক্ত মেসন কণার বিনিময়ের ফলেই প্রোটন নিউট্রনে এবং নিউট্রন প্রোটনে রূপান্তরিত হতে থাকে। এইভাবে চার্জযুক্ত মেসন কণার তীব্রবেগে আদান-প্রদানের ফলে নিউক্লিয়াসের কণাগুলির (নিউক্লিয়ন) মধ্যে প্রচণ্ড এক আকর্ষণী বলের সৃষ্টি হয়। এই বলই হল নিউক্লিয় বল। (1) এইভাবে সৃষ্ট নিউক্লিয় বল কুলম্বীয় বলের চেয়ে 100 গুণ বেশি শক্তিশালী। (2) এই বলের কার্যকারিতা নিউক্লিয়াসের পরিধির মাধ্যম সীমা বন্ধ থাকে। এই বল চার্জের উপর নির্ভরশীল নয়। (3) নিউক্লিয় বল ব্যাস্তানুপাত সূত্র দ্বারা পরিচালিত হয় না।

নিউক্লিয় এই বলের প্রভাবে অতি ক্ষুদ্র আয়তনের পরমাণু কেন্দ্রকের মধ্যে নিস্তড়িত নিউট্রন কণা এবংপজিটিভ আধানগ্রস্ত প্রোটন কণাগুলি এক সঙ্গে অবস্থান করে। এই আকর্ষণ বলটি শুধু দুটি নিউট্রন বা দুটি প্রোটন অথবা একটি প্রোটন ও একটি নিউট্রনের মধ্যে ক্রিয়া করে। এই নিউক্লিয় বল ছাড়া নিউক্লিয়াসের পজিটিভ আধানগ্রস্ত প্রোটন কণাগুলির মধ্যে কুলম্বীয় বিকর্ষণ বল ক্রিয়া করে। পরমাণু ক্রমাঙ্ক অর্থাৎ প্রোটন সংখ্যা বাড়ার সঙ্গে সঙ্গে এই কুলম্বীয় বিকর্ষণ বল দ্রুত বৃদ্ধি পায়। দেখা যায় যে, প্রোটনের সংখ্যা 83-এর বেশি হলে নিউক্লিয় বলের চেয়ে এই কুলম্বীয় বিকর্ষণ বল বেশি হয়, ফলে নিউক্লিয়াসটি অস্থায়ী ও স্বতঃভঙ্গুর হয়ে পড়ে। এই অবস্থায় স্থায়িত্ব লাভের জন্য নিউক্লিয়াস থেকে α অথবা β কণা নির্গত হতে থাকে এবং পরমাণুটির তেজস্ক্রিয় ধর্ম দেখা যায়।

কোনো মৌল তেজস্ক্রিয় হবে কিনা অথবা তেজস্ক্রিয় হলেও মৌলটি α না β কণা নিঃসরণ করবে—সে সম্বন্ধে কোনো নির্দিষ্ট নিয়ম এখন পর্যন্ত জানা যায়নি বটে, তবে কতকগুলি ঘটনা এ বিষয় জানতে মোটামুটি আমাদের সাহায্য করে।

(i) দেখা গেছে, যেসব পরমাণুর পরমাণু ক্রমাংক 83-এর বেশি সেই পরমাণুগুলি সাধারণত তেজস্ক্রিয় হয়। যেমন $_{92}U$, $_{88}Ra$ প্রভৃতি মৌল এবং ওদের আইসোটোপগুলি সবই তেজস্ক্রিয়।

(ii) প্রাকৃতিক মৌলগুলির পরমাণুর সুস্থিরতা পর্যবেক্ষণ করে দেখা গেছে, যে কেন্দ্রকের মধ্যে 2, 8, 20, 50, 82 অথবা 126 সংখ্যক প্রোটন বা নিউট্রন থাকে সেই কেন্দ্রকগুলি বিশেষভাবে স্থায়ী হয়—এই সংখ্যাগুলিকে ম্যাজিক সংখ্যা বলা হয়।

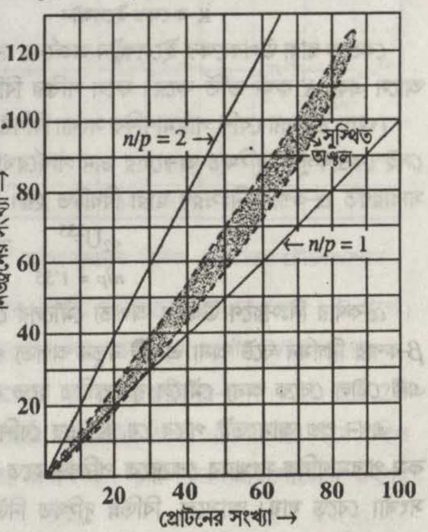
মৌল →	$_2He^4$	$_8O^{16}$	$_{20}Ca^{40}$	$_{82}Pb^{208}$
প্রোটনের সংখ্যা	2	8	20	82
নিউট্রন সংখ্যা	2	8	20	126

বাস্তবে দেখা যায়, $_2He^4$, $_8O^{16}$, $_{20}Ca^{40}$, $_{82}Pb^{208}$ — মৌলগুলি বেশ স্থায়ী।

যেসব কেন্দ্রকের মধ্যে প্রোটন বা নিউট্রন সংখ্যা এই ম্যাজিক সংখ্যার ঠিক উপরে সেই কেন্দ্রকগুলি কম স্থায়ী হয় এবং কেন্দ্রকগুলি নিকটতম ম্যাজিক সংখ্যায় পৌঁছানোর জন্য তেজস্ক্রিয় বিকিরণ করতে পারে।

(iii) যেসব কেন্দ্রকের মধ্যে নিউট্রন সংখ্যা এবং প্রোটন সংখ্যা জোড় সংখ্যক হয়, সাধারণত সেই কেন্দ্রকগুলি বেশি স্থায়ী হয়, যেমন, $_2He^4$, $_8O^{16}$, $_{20}Ca^{40}$ ইত্যাদি। আবার কেন্দ্রকে এই সংখ্যা বিজোড় হলে সেই কেন্দ্রকটি অস্থায়ী হয় (কয়েকটি ব্যতিক্রম হল $_1H^1$, $_3Li^6$, $_5Be^{10}$, $_7N^{14}$)।

(iv) কেন্দ্রকের স্থায়িত্বের অন্যতম কারণ হল কেন্দ্রকে উপস্থিত নিউট্রন ও প্রোটন সংখ্যার অনুপাত (n/p)। সমস্ত জানা অতেজস্ক্রিয় সুস্থিত কেন্দ্রকের মধ্যে উপস্থিত নিউট্রন সংখ্যা (n) এবং প্রোটন (p) সংখ্যাগুলিকে একটি ছক কাগজে বসালে যে লেখচিত্র পাওয়া যায়, তা পাশের চিত্রে দেখান হল। একটি অস্থায়ী তেজস্ক্রিয় মৌল α বা β কণা বিকিরণ করে কীভাবে স্থায়িত্ব অর্জন করতে পারে এই লেখচিত্র থেকে আমরা জানতে পারি। এতে দেখা যায় সমস্ত সুস্থিত কেন্দ্রকগুলি একটি অঞ্চলের মধ্যে সীমাবদ্ধ থাকে—একে **সুস্থিত অঞ্চল** বলে। কম পরমাণু ক্রমাঙ্কের সুস্থিত কেন্দ্রকগুলির n/p-এর অনুপাত 1 বা 1-এর খুব কাছাকাছি হয়। পারমাণবিক সংখ্যা বাড়ার সাথে সাথে কেন্দ্রকগুলির n/p-এর মান বাড়তে বাড়তে শেষে সবচেয়ে ভারী অতেজস্ক্রিয় আইসোটোপ $_{83}Bi^{209}$-এর ক্ষেত্রে n/p অনুপাতটি হয় 1·518. Bi-এর উপরে সব কেন্দ্রকই দুস্থিত।



চিত্র 2.6 ঃ নিউট্রন-প্রোটন সংখ্যার লেখ

(v) উচ্চ পরমাণু ক্রমাঙ্কের মৌলগুলির কেন্দ্রকে নিউট্রন সংখ্যা খুব বেশি হওয়ার জন্য ওদের n/p অনুপাতের মান 1·6 এর বেশি হয়ে যায়, ফলে কেন্দ্রকগুলি দুস্থিত এবং তেজস্ক্রিয় হয়। তাই এই মৌলগুলি α অথবা β কণার নিঃসরণ দ্বারা n/p-এর মানকে সুস্থির মানে আনতে চেষ্টা করে। তবে মনে রাখতে হবে যে কেন্দ্রকের সুস্থিতির পক্ষে n/p এর এমন কোনো নির্দিষ্ট মান নেই। কোনো নির্দিষ্ট পরমাণু ক্রমাঙ্কের কেন্দ্রকের জন্য n/p মানের সীমা নির্দিষ্ট থাকে।

(vi) লেখচিত্রে যে কেন্দ্রক সুস্থিত অঞ্চলের বামদিকে থাকে, সেই কেন্দ্রকটি দুস্থিত হয় এবং এর দুস্থিতির কারণ হল ওর মধ্যে অপেক্ষাকৃত বেশি সংখ্যক নিউট্রনের উপস্থিতি। এই অবস্থায় কেন্দ্রকটি ওর মধ্যস্থ নিউট্রনের সংখ্যা কমিয়ে এবং প্রোটনের সংখ্যা বাড়িয়ে সুস্থিত অঞ্চলের দিকে যাওয়ার চেষ্টা করে। সুতরাং এই অবস্থায়, **1টি নিউট্রন ভেঙে 1টি প্রোটন ও 1টি ইলেকট্রনে রূপান্তরিত হয়। এভাবে উৎপন্ন ইলেকট্রনটি উচ্চ শক্তি সম্পন্ন হওয়ায়, বিটা (β) কণারূপে তীব্রবেগে কেন্দ্রক থেকে বেরিয়ে যায়।**

$$_0n^1 \rightarrow {}_1p^1 + {}_1e^0 + \text{নিউট্রিনো } (\nu)$$

এই কারণে তেজস্ক্রিয় C^{14} কেন্দ্রক থেকে $_{-1}e^0$ অর্থাৎ β কণা নিঃসৃত হয়। $_6C^{14} \rightarrow {}_7N^{14} + {}_{-1}e^0$ (β কণা)

অনুরূপে $_{90}Th^{234} \rightarrow {}_{91}Pa^{234} + {}_{-1}e^0$ $\quad$ $_{13}Al^{29} \rightarrow {}_{14}Si^{29} + {}_{-1}e^0$ (β কণা)

অতএব বলা যায়, যেসব কেন্দ্রকে n/p-এর মান খুব বেশি হয়, সেইসব ক্ষেত্রে সুস্থিত অঞ্চলে প্রবেশ করার একটি প্রবণতা থাকার জন্য কেন্দ্রক থেকে β-কণা নিঃসৃত হয়।

(vi) আবার যেসব কেন্দ্রক সুস্থিত অঞ্চলের ডান পার্শ্বে থাকে সেইসব কেন্দ্রকের n/p-এর অনুপাতটি সুস্থিত কেন্দ্রকের n/p-এর থেকে কম হয়, অর্থাৎ ($n/p < 1$) হয়। কেন্দ্রকের স্থায়িত্বের জন্য যত সংখ্যক নিউট্রন থাকা দরকার তার চেয়ে কম সংখ্যক নিউট্রন উপস্থিত থাকে। এই অবস্থায় কেন্দ্রকটির 1টি প্রোটন থেকে পজিট্রন ($_+e^0$) নিঃসৃত হয়ে প্রোটনটি স্থায়ীভাবে নিউট্রনে পরিণত হয়। এই উপায়ে কেন্দ্রকটিতে নিউট্রনের সংখ্যা বাড়ে ও প্রোটনের সংখ্যা কমে, ফলে $n/p = 1$ বা তার কাছাকাছি

হয়। যেমন, $_7N^{13}$ কেন্দ্রকে $n/p = 0.86$. এই কেন্দ্রক থেকে 1টি পজিট্রন নিঃসৃত হয়ে কেন্দ্রকটিতে 1টি প্রোটন সংখ্যা কমে $_6C^{13}$ কেন্দ্রকে পরিণত হয়। ফলে n/p অনুপাতটি 1.16 হয়।

$$_7N^{13} \rightarrow {_6C^{13}} + {_{+1}e^0} \text{ (পজিট্রন)} \qquad {_{53}I^{121}} \rightarrow {_{52}Te^{121}} + {_{+1}e^0}$$

মনে রাখা দরকার, পজিট্রন বিকিরণে পারমাণবিক সংখ্যা 1 একক কমে যায়।

(vii) K কক্ষের ইলেকট্রন গ্রহণ ঃ যেসব মৌলের n/p অনুপাত খুব কম, তাদের ক্ষেত্রে দেখা যায়, নিউক্লিয়াসটি নিকটতম *K* কক্ষের উপকক্ষ থেকে একটি ইলেকট্রন গ্রহণ করে একটি প্রোটনকে নিউট্রনে পরিণত করে n/p-এর-মান বাড়ায়। এর ফলে মৌলটির পরমাণু ক্রমাংক বা চার্জ এক একক কমে যায়, ফলে অন্য মৌলের পরমাণুতে পরিণত হয়।

$$\underset{}{_{37}Rb^{82}} + \underset{\text{K-কক্ষের ইলেকট্রন}}{_{-1}e^0} \rightarrow {_{36}Kr^{82}} \qquad {_4Be^7} + \underset{\text{K কক্ষের ইলেকট্রন}}{_{-1}e^0} \rightarrow {_3Li^7} + \nu \text{ (নিউট্রিনো)}$$

কেন্দ্রক দ্বারা উপকক্ষের ইলেকট্রন অর্জনের ফলে, উচ্চ শক্তিসম্পন্ন উপরের উপকক্ষ থেকে ইলেকট্রন নীচের উপকক্ষে নেমে আসে এবং *K* কক্ষ ভর্তি করে। ফলে শক্তির বিকিরণ হয়। এই অতিরিক্ত শক্তি *X*-রশ্মি রূপে নির্গত হয়।

(viii) 83-এর বেশি পারমাণবিক সংখ্যা বিশিষ্ট মৌলগুলির যে কেন্দ্রকে নিউট্রনের সংখ্যা অপেক্ষাকৃত কম থাকে 2.6 লেখচিত্রে সেই কেন্দ্রকগুলি সুস্থিত অঞ্চলের ডান পার্শ্বরেখা ছাড়িয়ে কিছুটা উপরের দিকে অবস্থান করে। এই জাতীয় ভারী কেন্দ্রকগুলি সাধারণত α-কণার নিঃসরণ দ্বারা বিঘটিত হয়। যেমন,

$$\underset{n/p = 1.55}{_{92}U^{235}} \rightarrow \underset{n/p = 1.56}{_{90}Th^{231}} + {_2He^4} \ (\alpha\text{-কণা})$$

α-কণার নিঃসরণে উৎপন্ন অপত্য মৌলের কেন্দ্রকটি সুস্থিত না হলে, ওর কেন্দ্রক থেকে অবস্থা বিশেষে α-কণা অথবা β-কণার নির্গমন ঘটে অন্য একটি নতুন অপত্য মৌলে পরিণত হয়। এইভাবে পর পর α অথবা β-কণার নিঃসরণের মাধ্যমে এক মৌল থেকে অন্য মৌলে রূপান্তরিত হতে হতে শেষে সুস্থিত $_{82}Pb^{206}$-তে পরিণত হয়।

এখন প্রশ্ন আসতেই পারে যে, **83-এর বেশি পারমাণবিক সংখ্যার কেন্দ্রক, α-কণা বিকিরণের মাধ্যমে সহজেই 83-এর কম পারমাণবিক সংখ্যার কেন্দ্রকে পরিণত হতে পারে, তাহলে β-কণা নির্গত হয় কেন? β-কণা নির্গত হলে তো পারমাণবিক সংখ্যা বেড়ে যায়।** আসলে, বিভিন্ন দুস্থিত নিউক্লিয়াসকে সুস্থিত নিউক্লিয়াসে পরিণত হতে হলে, **নিউক্লিয়াসটির n/p-এ অনুপাতটিকে কোনো নির্দিষ্ট পরমাণুর জন্য একটি উপযুক্ত মানের হতে হয়।** তাই কেবল α-কণার নির্গমন দ্বারা n/p অনুপাতটি ওই উপযুক্ত মানে আসতে পারে না। α এবং β-কণা—এই দুই প্রকার কণার নির্গমন দ্বারা n/p-এর এই উপযুক্ত মানে আসা সম্ভব হয়। এই কারণে তেজস্ক্রিয় বিঘটনে α এবং β উভয় প্রকার কণাই নির্গত হয়।

2.7. গ্রুপ-সরণ সূত্র [Group displacement law]

● **ফাজান্স এবং সডির গ্রুপ-সরণ সূত্র** (Group displacement law) **ঃ**

(i) কোনো তেজস্ক্রিয় মৌলের পরমাণুর নিউক্লিয়াস থেকে একটি α-কণা বেরিয়ে গেলে, উৎপন্ন নতুন অপত্য মৌলটির পারমাণবিক ভর 4 একক কমে যায় এবং পারমাণবিক সংখ্যা 2 একক কমে যায়। এর ফলে পর্যায়-সারণিতে আদি মৌলটি যে গ্রুপে ছিল, নতুন অপত্য মৌলটি তার 2 ঘর বাম দিকে স্থান পায়।

(ii) কোনো তেজস্ক্রিয় মৌলের পরমাণুর নিউক্লিয়াস থেকে একটি β-কণা বেরিয়ে গেলে, উৎপন্ন নতুন অপত্য মৌলটির ভর সংখ্যা একই থাকে, কিন্তু পারমাণবিক সংখ্যা এক একক বেড়ে যায়। এর ফলে পর্যায়-সারণিতে আদি মৌলটি যে গ্রুপে ছিল, নতুন অপত্য মৌলটি তার এক ঘর ডান দিকে স্থান পায়।

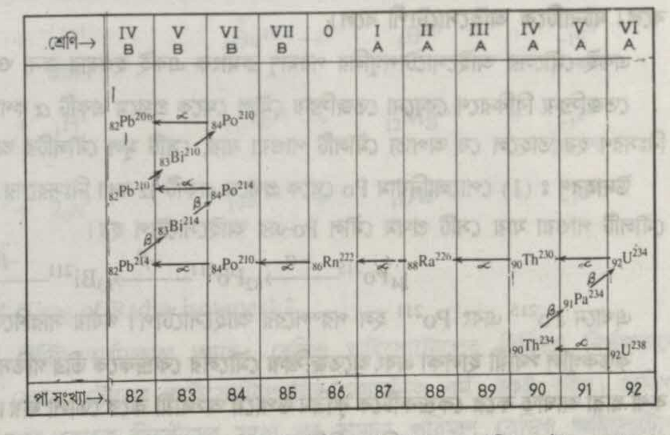
এইভাবে তেজস্ক্রিয় মৌলগুলিকে পর্যায়-সারণিতে স্থান দেওয়া হয়েছে।

● **ফাজান্স-সডির গ্রুপ সরণ সূত্রের ব্যাখ্যা ঃ**

(1) তেজস্ক্রিয় পরিবর্তনে কোনো তেজস্ক্রিয় মৌলের নিউক্লিয়াস থেকে একটি α–কণা নির্গত হলে উৎপন্ন নতুন অপত্য মৌলটির ভর, মূল মৌলটির ভর থেকে 4 একক কমে যায় এবং পরমাণু ক্রমাংক 2 একক কমে যায়। কারণ একটি α–কণার (He^{2+}) ভর = 4 amu এবং α–কণার চার্জ 2 একক। পরমাণু ক্রমাঙ্ক 2 একক কমে যাওয়ার ফলে নতুন অপত্য মৌলটির স্থান, পর্যায়-সারণিতে মূল মৌলটি যে গ্রুপে থাকে তার দু ঘর বাম দিকে হয়।

উদাহরণ ঃ যেমন, $_{88}Ra^{226}$ 1টি α–কণা নিঃসৃত করে $_{86}Rn^{222}$ উৎপন্ন করে। পর্যায় সারণিতে Ra-এর স্থান IIA গ্রুপে। সুতরাং α–কণার নির্গমনে উৎপন্ন অপত্য মৌল Rn-এর পর্যায় সারণিতে স্থান হবে 2 ঘর বামদিকে অর্থাৎ 0 গ্রুপে।

(2) কোনো তেজস্ক্রিয় পরিবর্তনে কোনো মৌলের নিউক্লিয়াস থেকে 1টি β–কণা নির্গত হলে, উৎপন্ন নতুন মৌলটির ভর একই থাকে কারণ β–কণার ভর নগণ্য। β–কণা নিউক্লিয়াসে থাকে না—একটি নিউট্রন প্রোটনে পরিণত হলেই 1টি β–কণা $(_{-1}e^{o})$ নির্গত হয় $_{o}n^{1} \rightarrow {_1}p^{1} + {_{-1}e^{o}}$. এর ফলে নতুন মৌলটির নিউক্লিয়াসে 1টি প্রোটনের সংখ্যা বেড়ে যাওয়ার ফলে ওর পরমাণু ক্রমাঙ্ক 1 একক বেড়ে যায়। এর ফলে উৎপন্ন নতুন অপত্য মৌলটির স্থান, আদি মৌলটি পর্যায় সারণির যে গ্রুপে থাকে তার এক ঘর ডান দিকে হবে।



চিত্র 2.7 ঃ পর্যায় সারণিতে $_{92}U^{238}$ সারির অন্তর্ভুক্ত বিভিন্ন তেজস্ক্রিয় মৌলের স্থান

উদাহরণ ঃ যেমন $_{83}Bi^{210}$ 1টি β–কণা নিঃসরণ করে $_{84}Po^{210}$ উৎপন্ন করে। পর্যায় সারণিতে Bi-এর স্থান VB গ্রুপে। সুতরাং β–কণার নির্গমনে অপত্য মৌল Po -এর পর্যায় সারণিতে স্থান হবে 1 ঘর ডানদিকে অর্থাৎ VIB গ্রুপে।

এই সূত্র থেকে এই সিদ্ধান্তে আসা যায় যে, **একটি তেজস্ক্রিয় মৌল থেকে প্রথমে একটি α–কণা এবং পরে 2টি β–কণা পরপর নির্গত হলে, পর্যায় সারণিতে শেষ উৎপন্ন মৌলটির স্থান আদি মৌলটির সঙ্গে একই ঘরে হবে** যদিও উৎপন্ন মৌলটির পারমাণবিক ভর **মূল মৌলটির চেয়ে 4 একক কমে যায়, অর্থাৎ মূল মৌলটির আইসোটোপ উৎপন্ন হয়।** ঘটনাটি নীচে দেখানো হল—

$$_{z}A^{m} \xrightarrow[\text{কণা}]{-\alpha} {_{z-2}B^{m-4}} \xrightarrow[\text{কণা}]{-\beta} {_{z-1}C^{m-4}} \xrightarrow[\text{কণা}]{-\beta} {_{z}D^{m-4}}$$

ধরি *A* মৌলটি **Gr III-তে আছে**	পরমাণু-ক্রমাঙ্ক 2 কম, তাই *A*-র থেকে 2 ঘর বামদিকে **Gr-I-এ** *B* স্থান পাবে।	পরমাণু-ক্রমাঙ্ক *B*–এর থেকে 1 বেশি, তাই *C*-এর স্থান *B*-এর 1 ঘর ডান দিকে অর্থাৎ **Gr II-তে** হবে।	ভর একই আছে কিন্তু পরমাণু-ক্রমাঙ্ক *C*-এর থেকে 1 বেড়ে গেছে, তাই *D*-এর স্থান *C* থেকে 1 ঘর ডান দিকে *A*-এর সাথে **Gr III** -তে হবে।

এক্ষেত্রে *A* এবং *D* মৌল দুটির পরমাণু-ক্রমাঙ্ক সমান কিন্তু ভরসংখ্যা বিভিন্ন; তাই *A* এবং *D* মৌল দুটি হল পরস্পরের **আইসোটোপ**। আবার *B, C* এবং *D* মৌলগুলির পরমাণু-ক্রমাঙ্ক বিভিন্ন হলেও ওদের ভরসংখ্যাগুলি একই; তাই এরা হল পরস্পরের **আইসোবার**। দেখা গেল তেজস্ক্রিয় মৌল থেকে β কণার নিঃসরণে যে অপত্য মৌল উৎপন্ন হয় সেটি এবং আদি মৌলটি হল **আইসোবার**।

$$\text{Gr} \rightarrow \underset{16}{\underset{\text{VIB}}{_{84}Po^{215}}} \xrightarrow{-\alpha} \underset{14}{\underset{\text{IVB}}{_{82}Pb^{211}}} \xrightarrow{-\beta} \underset{15}{\underset{\text{VB}}{_{83}Bi^{211}}} \xrightarrow{-\beta} \underset{16}{\underset{\text{VIB}}{_{84}Po^{211}}}$$

ফাজান্স-সডির গ্রুপ সরণ সূত্রের গুরুত্ব ঃ (i) এই সূত্রের সাহায্যে বহু সংখ্যক বিভিন্ন তেজস্ক্রিয় মৌলগুলিকে পর্যায় সারণিতে স্থান দেওয়া সম্ভব হয়েছে। **(ii)** এই সূত্র থেকে জানা গেল যে, কোনো তেজস্ক্রিয় মৌল থেকে প্রথমে একটি α–কণা এবং পর পর 2টি β–কণা নির্গত হলে পর, উৎপন্ন নতুন মৌলটির পরমাণু ক্রমাঙ্ক এবং মূল মৌলের পরমাণু ক্রমাঙ্ক সমান হয় (আইসোটোপ); ফলে ওরা পর্যায়-সারণিতে একই জায়গায় স্থান পায়। **(iii)** এই সূত্র থেকে সর্বপ্রথম আইসোটোপ সম্বন্ধে ধারণা জন্মে।

2.8. রেডিও আইসোটোপ ও রেডিও আইসোটোপের ব্যবহার [Radio-isotopes and their uses]

একই মৌলের বিভিন্ন ভরযুক্ত কিন্তু একই পারমাণবিক সংখ্যাবিশিষ্ট ভিন্ন ভিন্ন পরমাণুগুলিকে পরস্পরের আইসোটোপ বলে। ঘটনাটিকে আইসোটোপী বলে।

একই মৌলের আইসোটোপগুলির পরমাণু ক্রমাংক একই হওয়ার জন্য ওদের রাসায়নিক ধর্ম এক রকম হয়।

তেজস্ক্রিয় বিকিরণে কোনো তেজস্ক্রিয় মৌল থেকে প্রথমে একটি α কণা নিঃসৃত হওয়ার পর, যদি পর পর দুটি β কণার নিঃসরণ হয় তাহলে যে অপত্য মৌলটি পাওয়া যায়, সেটি মূল মৌলটির আইসোটোপ হয়।

উদাহরণ ঃ (1) পোলোনিয়াম Po থেকে প্রথমে একটি α কণা নিঃসরণের পর, 2টি β কণা পর পর নিঃসৃত হলে শেষ যে মৌলটি পাওয়া যায় সেটি প্রথম মৌল Po-এর আইসোটোপ হয়।

$$_{84}Po^{215} \xrightarrow{-\alpha} {}_{82}Pb^{211} \xrightarrow{-\beta} {}_{83}Bi^{211} \xrightarrow{-\beta} {}_{84}Po^{211}$$

এখানে Po^{215} এবং Po^{211} হল পরস্পরের আইসোটোপ। পর্যায় সারণিতে এদের স্থান হয় একই গ্রুপে।

কতকগুলি স্থায়ী হালকা এবং অতেজস্ক্রিয় মৌলের কেন্দ্রককে তীব্র গতিসম্পন্ন নিউট্রন বা α–কণা বা অন্য কোনো উপযুক্ত কণা দ্বারা আঘাত করে কেন্দ্রকটিকে কৃত্রিম উপায়ে অস্থায়ী করে তোলা যায়। স্থায়ী অবস্থায় ফিরে আসার জন্য ওই অস্থায়ী পরমাণুর কেন্দ্রক থেকে তেজস্ক্রিয় বিকিরণ হতে থাকে। এই ঘটনাকে কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়তা বলে।

টার্গেট কেন্দ্রক + আঘাতকারী কণা → নতুন সৃষ্ট কেন্দ্রক + নিঃসৃত নতুন কণা

আঘাতকারী কণারূপে ব্যবহৃত হয়—আলফা কণা-(α) $_2He^4$, প্রোটন $(_1H^1)$, ডয়ট্রন $(_1H^2)$, নিউট্রন $(_0n^1)$ ইত্যাদি।

তীব্র গতি সম্পন্ন কোনো আঘাতকারী কণাকে যেকোনো টার্গেট কেন্দ্রকের দিকে নিক্ষেপ করলেই যে বিঘটন শুরু হবে তা নয়। যেমন, রাদারফোর্ড Po থেকে নিঃসৃত α কণাকে তীব্র গতিসম্পন্ন করে ভারী টার্গেট কেন্দ্রককে আঘাত করার জন্য ব্যবহার করেন। তিনি ভেবেছিলেন তীব্র গতি সম্পন্ন এই α-কণা টার্গেট কেন্দ্রকটির (Au পরমাণুর কেন্দ্রক) বিকর্ষণ বলের প্রভাবকে অতিক্রম করে টার্গেট কেন্দ্রকে গিয়ে আঘাত করতে পারে। কিন্তু টার্গেট কেন্দ্রকটির আধান খুব বেশি বলে, টার্গেট কেন্দ্রকটি আঘাতকারী α কণাটির উপর তীব্র বিকর্ষণ বল প্রয়োগ করে। তাই α কণাটি টার্গেট কেন্দ্রককে আঘাত করতে পারে না। ভারী পরমাণুর পরিবর্তে যদি হালকা মৌলের কেন্দ্রককে তীব্রগতি সম্পন্ন α–কণা দ্বারা আঘাত করা হয়। তাহলে হালকা মৌলের কেন্দ্রকের আধান অনেক কম হওয়ার জন্য আঘাতকারী α কণাগুলির উপর টার্গেট কেন্দ্রক দ্বারা কম বিকর্ষণ বল প্রযুক্ত হয়। ফলে α কণাগুলি তীব্রবেগে গিয়ে হালকা মৌলের (যেমন Be, B, C ইত্যাদি) কেন্দ্রকে গিয়ে আঘাত করতে পারে।

$$_4Be^9 + {}_2He^4 \longrightarrow {}_6C^{13} \longrightarrow {}_6C^{12} + {}_0n^1$$

1934 খ্রিস্টাব্দে মাদাম কুরির কন্যা **আইরিন কুরি জোলিও** এবং তার স্বামী **ফ্রেডারিক জোলিও** দেখান যে হালকা মৌলের **পরমাণুর কেন্দ্রককে তীব্র গতি সম্পন্ন কণা দিয়ে আঘাত করলে ওর মধ্যে তেজস্ক্রিয়তা ধর্ম প্রকাশ পায়।** যেমন, একটি Al পাতের উপর তীব্র গতি সম্পন্ন α–কণা বর্ষণ করলে, Al-এর উপর α–কণার বর্ষণে প্রথমে Al–এর নিউক্লিয়াস থেকে নিউট্রন কণা বেরিয়ে আসে, ফলে Al-এর কিছু সংখ্যক পরমাণু P এর একটি আইসোটোপে $(_{15}P^{30})$ এ পরিণত হয়। উৎপন্ন P আইসোটোপটির নিউক্লিয়াস অস্থায়ী হওয়ায়, ওর মধ্যে তেজস্ক্রিয় ধর্মের সৃষ্টি হয় এবং স্বাভাবিক তেজস্ক্রিয় মৌলের মতো বিভাজিত হয়ে β–কণার পরিবর্তে পজিট্রন কণার নিঃসরণ দ্বারা সুস্থিত সিলিকন আইসোটোপে $(_{14}Si^{30})$ পরিণত হয়। স্থায়ী $_{15}P^{31}$ এর রেডিওআইসোটোপ হল $_{15}P^{30}$। এদের অর্ধায়ুকাল খুব কম।

$$\underset{}{_{13}Al^{27}} + \underset{\alpha\text{–কণা}}{_2He^4} \longrightarrow \underset{\text{তেজস্ক্রিয় P}}{_{15}P^{30}} + \underset{\text{নিউট্রন}}{_0n^1} \qquad _{15}P^{30} \longrightarrow \underset{\text{সিলিকন}}{_{14}Si^{30}} + \underset{\text{পজিট্রন}}{_1e^0}$$

সুতরাং দেখা গেল, **কতকগুলি অতেজস্ক্রিয় মৌলের কেন্দ্রকে আঘাতকারী কোনো কণা দ্বারা আঘাত করে কৃত্রিম তেজস্ক্রিয় মৌল সৃষ্টি করা যায়। এই ঘটনাকে কৃত্রিম বা আবিষ্ট তেজস্ক্রিয়তা বলে।** । নীচে কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়তার কতকগুলি উদাহরণ দেওয়া হল। প্রতিক্ষেত্রে উৎপন্ন তেজস্ক্রিয় মৌলের মাথায় * চিহ্ন দেওয়া হল।

কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়তার উদাহরণ—

$_5B^{10}$	+	$_2He^4$	$\rightarrow$	$_7\overset{*}{N}^{13}$	+	$_0n^1$		$_7\overset{*}{N}^{13}$	$\rightarrow$	$_6C^{13}$	+	$_{+1}e^0$
বোরন		α—কণা		N-আইসোটোপ		নিউট্রন				কার্বন আইসোটোপ		পজিট্রন
$_3Li^7$	+	$_2He^4$	$\rightarrow$	$_4\overset{*}{Be}^{10}$	+	$_1H^1$		$_4\overset{*}{Be}^{10}$	$\rightarrow$	$_5B^{10}$	+	$_{-1}e^0$
লিথিয়াম				Be-আইসোটোপ		প্রোটন						β—কণা
$_{11}Na^{23}$	+	$_1H^2$	$\rightarrow$	$_{11}\overset{*}{Na}^{24}$	+	$_1H^1$		$_{11}\overset{*}{Na}^{24}$	$\rightarrow$	$_{12}Mg^{24}$	+	$_{-1}e^0$
		ডয়টেরিয়াম		Na-আইসোটোপ		-						β—কণা
$_{19}K^{39}$	+	$_0n^1$	$\rightarrow$	$_{19}\overset{*}{K}^{38}$	+	2_0n^1		$_{19}\overset{*}{K}^{38}$	$\rightarrow$	$_{18}Ar^{38}$	+	$_{+1}e^0$
পটাশিয়াম		নিউট্রন		K-আইসোটোপ								

● **রেডিও আইসোটোপের ব্যবহার** (Uses of Radio isotopes) ঃ

প্রত্যেকটি রেডিও-আইসোটোপের একটি নির্দিষ্ট অর্ধায়ুকাল আছে। রেডিও আইসোটোপের বিকিরণ নির্ভুলভাবে মাপা যায় এবং শনাক্ত করা যায়। তাছাড়া কোনো মৌলের আইসোটোপগুলির রাসায়নিক ধর্ম একই রকম। রেডিও আইসোটোপের এই ধর্মগুলির উপর নির্ভর করে কোনো সিস্টেমের মধ্যে খুব সামান্য পরিমাণ রেডিও আইসোটোপ প্রবেশ করিয়ে তার গতিবিধি এবং সিস্টেমের মধ্যে থাকা অবস্থায় পর পর ঘটে যাওয়া বিভিন্ন ভৌত এবং রাসায়নিক পরিবর্তনের ফলে ওর শেষ পরিণতি নির্ভুলভাবে মাপা সম্ভব হয়েছে। এর ফলে, বিজ্ঞানের বিভিন্ন ক্ষেত্রে, যেমন চিকিৎসা-বিজ্ঞান, জীববিজ্ঞান, রসায়নবিজ্ঞান, কৃষিবিজ্ঞান, ভূ-বিজ্ঞান, বিভিন্ন শিল্পে এবং কারিগরি বিদ্যায় প্রচুর রেডিও-আইসোটোপ ব্যবহৃত হচ্ছে।

(1) দেহের রোগ নির্ণয়ে এবং নিরাময়ের কাজে তেজস্ক্রিয় আইসোটোপের ব্যবহার—

(i) রক্ত ঘটিত নানা রোগ নির্ণয়ে **তেজস্ক্রিয় ফসফরাস ($_{15}P^{32}$)** ব্যবহৃত হয়।

(ii) কিডনির রোগ নির্ণয়ে **তেজস্ক্রিয় সোডিয়াম ($_{11}Na^{24}$)** ব্যবহৃত করা হয়।

(iii) ক্যানসার, ম্যালিগন্যান্ট টিউমার প্রভৃতি দূষিত দেহকোশ নষ্ট করার কাজে **তেজস্ক্রিয় কোবাল্ট-60 ($_{27}Co^{60}$)** ব্যবহার করা হয়। Co^{60}-এর তেজস্ক্রিয় বিকিরণে নির্গত γ-রশ্মি সুস্থ জীবকোশের চেয়ে দূষিত জীবকোশগুলিকে সহজে ধ্বংস করতে পারে। তাই নিয়ন্ত্রিত এবং সঠিক মাত্রার γ-রশ্মি প্রয়োগে রোগগ্রস্ত কোশগুলির বৃদ্ধিকে রোধ করা যায়।

(iv) থাইরয়েড গ্রন্থির ত্রুটি জনিত **গলগণ্ড রোগে** রোগীকে সামান্য **তেজস্ক্রিয় আয়োডিন (I^{131})** সেবন করানো হয়, যা ওই গ্রন্থিতে গিয়ে জমা হয় এবং I^{131} থেকে নির্গত γ-রশ্মি গলগণ্ডের দূষিত কোশগুলিকে নষ্ট করে।

(v) মস্তিষ্কের টিউমার, ব্লাড ক্যানসার প্রভৃতি রোগে **তেজস্ক্রিয় ফসফরাস ($_{15}P^{32}$)** ব্যবহার করা হয়। এই আইসোটোপ থেকে নির্গত β-কণা রোগগ্রস্ত কোশগুলিকে নষ্ট করে।

(vi) রেডিও আয়োডিন অথবা রেডিও সোডিয়াম হার্টের পাম্পের ক্রিয়াকৌশল জানার জন্য এবং হার্টে ঠিকমতো রক্ত সঞ্চালন হচ্ছে কিনা জানার জন্য ব্যবহৃত হয়।

(2) তেজস্ক্রিয় ধর্মের সাহায্যে মৃত প্রাণীর হাড় বা উদ্ভিদের ফসিল থেকে প্রাণী বা উদ্ভিদের বয়স নির্ণয় করা সম্ভব হয়েছে। বায়ুতে উপস্থিত CO_2-এর মধ্যে সর্বদা একটি নির্দিষ্ট অনুপাতে তেজস্ক্রিয় কার্বন C^{14} উপস্থিত থাকে, যা জীবিত প্রাণী বা উদ্ভিদ প্রত্যক্ষ বা পরোক্ষভাবে গ্রহণ করে। এর ফলে জীবন্ত প্রাণী এবং উদ্ভিদ দেহে নির্দিষ্ট এবং স্থির অনুপাতের C^{12} এবং C^{14} উপস্থিত থাকে। উদ্ভিদ বা প্রাণীর মৃত্যু হলে নতুন করে CO_2 নেওয়া বন্ধ হয়ে যায়। মৃত্যুর সময় ওদের দেহে যে পরিমাণ তেজস্ক্রিয় C^{14} ছিল তা বিক্রিয়া দ্বারা $_7N^{14}$-এ পরিণত হতে থাকে। এর ফলে সময়ের সঙ্গে সঙ্গে C^{14} এর ওই পরিমাণ

সূচকীয় হার কমতে থাকে। $_6C^{14} \rightarrow {}_7N^{14} + {}_{-1}e^0$. C^{14}-এর অর্ধায়ুকাল 5770 বৎসর জানা আছে। **গাইগার মূলার কাউন্টার** যন্ত্রের সাহায্যে এক গ্রাম নমুনা কাঠ থেকে 1 মিনিটে কত সংখ্যক β-কণার নিঃসরণ বা পাল্‌স হয় সহজেই জানা যায়। একটি পুরানো কাঠের বয়স কীভাবে নির্ণয় করা হয় উদাহরণের সাহায্যে বোঝানো হল; যেমন, একটি প্রাচীন চেয়ারের কাঠের নমুনার 1 গ্রামে 1 মিনিটে 5টি পাল্‌স হতে দেখা গেল। সদ্য গাছ থেকে কাটা কাঠের নমুনার ক্ষেত্রে মিনিটে 15·5টি পাল্‌স হয়। আমরা জানি অর্ধায়ুকাল $T = \frac{0{\cdot}693}{\lambda}$ বা, $\lambda = \frac{0{\cdot}693}{T} = \frac{0{\cdot}693}{5770} = 1{\cdot}2 \times 10^{-4}$/বৎসর। এখন যেহেতু পাল্‌সের হার পরমাণুর সংখ্যার সমানুপাতিক, অতএব কাঠের বয়স $t = \frac{2{\cdot}303}{\lambda}\log\frac{N_0}{N}$ সমীকরণে মানগুলি বসিয়ে $t = \frac{2{\cdot}303}{1{\cdot}2\times10^{-4}}\log\frac{15{\cdot}5}{5} = \mathbf{9430{\cdot}9}$ **বৎসর।**

(3) প্রাণী বা উদ্ভিদ দেহের মধ্যে ঘটে এমন জৈবিক প্রক্রিয়াগুলি সম্বন্ধে মূল্যবান তথ্য জানার জন্য কোনো মৌলের স্থায়ী আইসোটোপের সঙ্গে রেডিও আইসোটোপ মিশিয়ে ওই মিশ্রণকে জীবন ক্রিয়ায় ঘটে এমন রাসায়নিক বিক্রিয়ায় অংশ নিতে দিলে, স্থায়ী আইসোটোপের মতোই ওই রেডিও-আইসোটোপ ওই বিক্রিয়ায় অংশ নেয়। এই অবস্থায় বিকিরণ নির্দেশক যন্ত্রের (গাইগার কাউন্টার) সাহায্যে রেডিও-আইসোটোপ থেকে নিঃসৃত বিকিরণ লক্ষ করে প্রাণী বা উদ্ভিদ দেহের মধ্যে ওই তেজস্ক্রিয় পরমাণুর গতিপথ অনুসরণ করে দেহের মধ্যে ঘটে যাওয়া জৈবিক প্রক্রিয়াগুলি সম্বন্ধে অনেক মূল্যবান তথ্য পাওয়া যায়।

(4) **কৃষি বিজ্ঞানে** রেডিও আইসোটোপের বহুল ব্যবহার আছে। C^{14} আইসোটোপের সাহায্যে **সালোকসংশ্লেষ প্রক্রিয়ায়** বিভিন্ন বিষয়গুলি জানা গেছে। তেজস্ক্রিয় Ca, P, Zn ইত্যাদি প্রয়োগ করে উদ্ভিদ দেহের পুষ্টির জন্য কোন্ কোন্ খনিজের প্রয়োজন তা পরিষ্কারভাবে জানা সম্ভব হয়েছে।

(5) **ভালো জাতের ইস্পাত প্রস্তুতিতে, আলোক উৎসরূপে, পৃথিবীর বয়স নির্ণয়ে এবং অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা সঠিকভাবে** নির্ণয় করার ক্ষেত্রে তেজস্ক্রিয়তাকে ব্যবহার করা হয়।

2.9. আইসোবার [Isobar]

বিভিন্ন পারমাণবিক সংখ্যাবিশিষ্ট কিন্তু একই ভর-সংখ্যাবিশিষ্ট পরমাণুগুলিকে আইসোবার বলে। যেমন 40 ভর-সংখ্যাবিশিষ্ট পটাশিয়াম $_{19}K^{40}$ এবং 40 ভরসংখ্যাবিশিষ্ট ক্যালশিয়াম $_{20}Ca^{40}$ পরস্পরের আইসোবার। $_{19}K^{40}$-এর মধ্যে 19টি প্রোটন এবং 21টি নিউট্রন থাকে, $_{20}Ca^{40}$-এর মধ্যে 20টি প্রোটন এবং 20টি নিউট্রন থাকে। আইসোবারগুলি ভিন্ন মৌলের পরমাণু, কারণ এদের ভর-সংখ্যা এক হলেও পারমাণবিক সংখ্যা অর্থাৎ প্রোটন সংখ্যা ভিন্ন, তাই এদের ভৌত এবং রাসায়নিক ধর্ম ভিন্ন হয়।

কোনো **তেজস্ক্রিয় মৌলের তেজস্ক্রিয় বিকিরণে, ওই মৌল থেকে একটি β-কণা নিঃসরণের ফলে যে অপত্য তেজস্ক্রিয় মৌল উৎপন্ন হয়, সেটি আদি মৌলটির আইসোবার হয়।** যেমন, থোরিয়াম-234 থেকে 1টি β-কণা নিঃসরণে প্রোটোঅ্যাক্টিনিয়াম-234 উৎপন্ন হয়। সুতরাং এক্ষেত্রে $_{90}Th^{234}$ এবং $_{91}Pa^{234}$ হল আইসোবার।

$$_{90}Th^{234} \xrightarrow{-\beta} {}_{91}Pa^{234} \xrightarrow{-\beta} {}_{92}U^{234}$$

জনক নিউক্লিয়াইড $\xrightarrow{-\beta \text{ কণা}}$ আইসোবার

জনক নিউক্লিয়াইড $\xrightarrow{-\alpha,\ -2\beta \text{ কণা}}$ আইসোটোপ

উপরের বিঘটন বিক্রিয়ায়, $_{90}Th^{234}$, $_{91}Pa^{234}$ এবং $_{92}U^{234}$—মৌলগুলি হল পরস্পরের আইসোবার, কারণ এদের পরমাণু-ক্রমাঙ্ক বিভিন্ন হলেও **ভরসংখ্যা সমান।**

2.10. আইসোটোন [Isotone]

যেসব মৌলের পরমাণুর নিউক্লিয়াসের মধ্যে নিউট্রন সংখ্যা একই কিন্তু প্রোটন সংখ্যা বিভিন্ন, তাদের আইসোটোন বলে। এদের ভরসংখ্যা বিভিন্ন হয় এবং ভৌত ও রাসায়নিক ধর্ম বিভিন্ন হয়। কারণ এদের নিউক্লিয়াসের মধ্যে প্রোটন সংখ্যা অর্থাৎ পারমাণবিক সংখ্যা এক নয়। যেমন—

$_{14}Si^{30} \rightarrow$ ভরসংখ্যা 30, পাঃ সংখ্যা = 14, নিউট্রন সংখ্যা = (30 − 14) = 16

$_{15}P^{31} \rightarrow$ ভরসংখ্যা 31, পাঃ সংখ্যা = 15, নিউট্রন সংখ্যা = (31 − 15) = 16

$_{16}S^{32} \rightarrow$ ভরসংখ্যা 32, পাঃ সংখ্যা = 16, নিউট্রন সংখ্যা = (32 − 16) = 16

আইসোটোপ, আইসোটোন এবং আইসোবারের তুলনা নীচে ছকের সাহায্যে দেখানো হল :

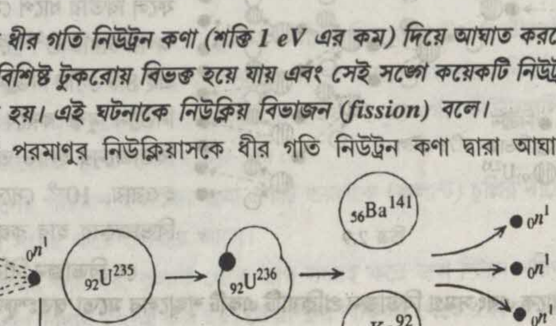
	ভরসংখ্যা M	প্রোটন সংখ্যা Z	নিউট্রন সংখ্যা N	উদাহরণ
আইসোটোপ	বিভিন্ন	একই	বিভিন্ন	${}_{17}Cl^{35}$ এবং ${}_{17}Cl^{37}$
আইসোটোন	বিভিন্ন	বিভিন্ন	একই	${}_{1}H^{2}$ এবং ${}_{2}He^{3}$
আইসোবার	একই	বিভিন্ন	বিভিন্ন	${}_{32}Ge^{76}$ এবং ${}_{34}Se^{76}$

2.11. নিউক্লিয় বিভাজন ও নিউক্লিয় সংযোজন বিক্রিয়া [Nuclear fission and Nuclear fusion reactions]

কোনো পরমাণুর নিউক্লিয়াসকে উচ্চশক্তি সম্পন্ন কোনো কণা দ্বারা আঘাত করলে, মৌলটির পরমাণু অন্য মৌলের পরমাণুতে পরিণত হয়। এই রকম কৃত্রিম মৌলান্তর ঘটানোর জন্য α কণা, ডয়টেরন, প্রোটন ইত্যাদি আধানযুক্ত কণাগুলির চেয়ে আধানহীন নিউট্রন কণা বেশি কার্যকরী হয়। আবার দেখা যায় যে দ্রুতগতি নিউট্রন কণার চেয়ে মৌলান্তর ঘটানোর ক্ষমতা ধীরগতি নিউট্রন কণার অনেক বেশি।

নিউক্লিয় বিভাজন—*কোনো ভারী পরমাণুর কেন্দ্রককে ধীর গতি নিউট্রন কণা (শক্তি 1 eV এর কম) দিয়ে আঘাত করলে ভারী পরমাণুর কেন্দ্রকটি বিভাজিত হয়ে দুটি প্রায় সমভর বিশিষ্ট টুকরোয় বিভক্ত হয়ে যায় এবং সেই সঙ্গে কয়েকটি নিউট্রন কণার সৃষ্টি হয় এবং প্রচুর পরিমাণ নিউক্লিয় শক্তির উদ্ভব হয়। এই ঘটনাকে নিউক্লিয় বিভাজন (fission) বলে।*

1939 খ্রিস্টাব্দে অটোহ্যাম এবং স্ট্রাসম্যান, ${}_{92}U^{235}$ পরমাণুর নিউক্লিয়াসকে ধীর গতি নিউট্রন কণা দ্বারা আঘাত করে দেখেন যে, ${}_{92}U^{235}$ নিউক্লিয়াসটি বিভাজিত হয়ে দুটি টুকরোয় পরিণত হয়—একটি হল 56 পারমাণবিক সংখ্যা বিশিষ্ট বেরিয়াম (Ba) পরমাণুর নিউক্লিয়াস ${}_{56}Ba^{141}$ এবং অপরটি হল 36 পারমাণবিক সংখ্যার ক্রিপ্টন পরমাণুর নিউক্লিয়াস ${}_{36}Kr^{92}$ সেই সাথে 3টি নিউট্রন নিঃসৃত হয় ভারী ইউরেনিয়াম-235 পরমাণুর কেন্দ্রক বিভাজনের নিউক্লিয় বিক্রিয়াটিতে নীচের সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা হল—



চিত্র 2.8

$${}_{92}U^{235} + {}_0n^1 \longrightarrow {}_{92}U^{236} \longrightarrow {}_{56}Ba^{141} + {}_{36}Kr^{92} + 3{}_0n^1 + \text{শক্তি}$$

${}_{92}U^{235}$ এর কেন্দ্রককে ধীর গতি নিউট্রন কণা দ্বারা আঘাত করলে, কেন্দ্রকটি প্রথমে নিউট্রন কণাটিকে শোষণ করে ইউরেনিয়ামের একটি অস্থায়ী আইসোটোপ ${}_{92}U^{236}$-তে পরিণত হয়। এটি খুব দুস্থিত বলে সঙ্গে সঙ্গে বিভিন্ন প্রকারে বিভাজিত হয়ে বেশির ভাগ ক্ষেত্রে ${}_{56}Ba^{141}$ এবং ${}_{36}Kr^{92}$ কেন্দ্রকে পরিণত হয়। আবার কতকগুলি ক্ষেত্রে ${}_{54}Xe^{144}$ ও ${}_{38}Sr^{90}$ বা ${}_{55}Cs^{144}$ ও ${}_{37}Rb^{90}$ কেন্দ্রকে পরিণত হয়।

$$\mathbf{{}_{92}U^{235} + {}_0n^1 \longrightarrow [{}_{92}U^{236}]} \begin{cases} \longrightarrow {}_{56}Ba^{141} + {}_{36}Kr^{92} + 3{}_0n^1 \\ \longrightarrow {}_{54}Xe^{144} + {}_{38}Sr^{90} + 2{}_0n^1 \\ \longrightarrow {}_{55}Cs^{144} + {}_{37}Rb^{90} + 2{}_0n^1 \end{cases}$$

নিউক্লিয়াস বিভাজন বিক্রিয়ায় প্রচুর পরিমাণ শক্তি মুক্ত হওয়ার কারণ হল, নিউক্লিয়াসের এই বিভাজনে উৎপন্ন পদার্থগুলির মোট ভর, মূল ${}_{92}U^{235}$ কেন্দ্রক এবং আঘাতকারী নিউট্রনের মোট ভরের চেয়ে কিছু কম হয় অর্থাৎ নিউক্লিয় বিভাজনের ফলে উৎপন্ন পদার্থগুলিতে ভরের হ্রাস ঘটে। এর ফলে আইনস্টাইনের ভর ও শক্তির সমতা সূত্রানুযায়ী, এই নিউক্লিয় বিক্রিয়ায় যে পরিমাণ পরমাণু-ভর কমে যায়, তার সমতুল্য বিপুল পরিমাণ শক্তির উদ্ভব ঘটে।

ভর ও শক্তির সমতার সমীকরণ $E = mc^2$ যেখানে E = শক্তি, m = ভর এবং c = আলোর বেগ। উদাহরণস্বরূপ, U^{235} নিউক্লিয়াসটি যখন বিভাজিত হয়ে Ba^{141} এবং Kr^{92} এবং তিনটি নিউট্রনে পরিণত হয়—

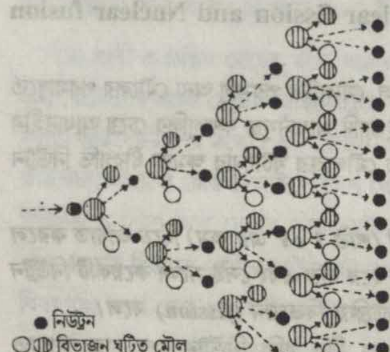
$$\underset{235{\cdot}1175\ \text{amu}}{{}_{92}U^{235}} + \underset{1{\cdot}0089\ \text{amu}}{{}_0n^1} \longrightarrow \underset{140{\cdot}9577\ \text{amu}}{{}_{56}Ba^{141}} + \underset{91{\cdot}9264\ \text{amu}}{{}_{36}Kr^{92}} + \underset{3\times1{\cdot}0089\ \text{amu}}{3{}_0n^1}$$

মোট ভর = **236·1264** amu — মোট ভর = 235·910 amu

ভরের ঘাটতির পরিমাণ = (236·1264 − 235·910) = 0·216 amu

1 amu পরিমাণ ভর কমে গেলে 931·48 MeV পরিমাণ শক্তির উদ্ভব হয়। সুতরাং $_{92}U^{235}$ নিউক্লিয়াসটির বিভাজনে ভরের যে পরিমাণ ঘাটতি হয়, তা সম্পূর্ণভাবে শক্তিতে রূপান্তরিত হয়ে যে পরিমাণ শক্তি মুক্ত করে = 0·216 × 931·48 = 201·199 MeV. এই বিপুল শক্তি তাপশক্তি রূপে প্রকাশ পায়।

● **শৃঙ্খল বিক্রিয়া** (Chain reaction) : একটি U^{235} নিউক্লিয়াসের বিভাজনে অপর দুটি মৌল উৎপন্ন হওয়ার সাথে সাথে দুটি থেকে তিনটি গৌণ নিউট্রন কণা মুক্ত হয়। এভাবে মুক্ত গৌণ নিউট্রন কণাগুলি উচ্চশক্তি সম্পন্ন হয়। এখন $_{92}U^{235}$ কেন্দ্রকের পরিমাণ বেশি হলে, উৎপন্ন গৌণ নিউট্রনগুলি অন্যান্য $_{92}U^{235}$ কেন্দ্রকগুলির বিভাজন ঘটাতে থাকে। সুতরাং বিভাজন ক্রিয়া একবার শুরু হলে অবিরাম গতিতে তা চলতে থাকে।



চিত্র 2.9

ধরা যাক প্রতিটি U^{235} কেন্দ্রকের বিভাজনে 2টি করে গৌণ নিউট্রন মুক্ত হয়। এই মুক্ত গৌণ নিউট্রন দুটি অপর দুটি U^{235} নিউক্লিয়াসকে বিভাজিত করবে। এর ফলে দ্বিতীয় ধাপে মোট 4টি গৌণ নিউট্রন মুক্ত হবে। এই 4টি গৌণ নিউট্রন আবার অপর চারটি U^{235} কেন্দ্রককে বিভাজিত করে মোট 8টি গৌণ নিউট্রন মুক্ত করবে। এই 8টি গৌণ নিউট্রন অপর 8টি U^{235} কেন্দ্রককে বিভাজিত করে মোট 16টি গৌণ নিউট্রন মুক্ত করবে। এভাবে মুক্ত গৌণ নিউট্রনের সংখ্যা যত বাড়তে থাকবে বিভাজনের হারও তত বাড়তে থাকবে। মুক্ত গৌণ নিউট্রনগুলি তীব্র গতি সম্পন্ন হওয়ায়, 10^{-9} সেকেন্ডের মধ্যে অন্য কেন্দ্রককে গিয়ে আঘাত করে। এভাবে বিভাজনের হার কল্পনাতীতভাবে বৃদ্ধি পেতে থাকে।

যে বিভাজন বিক্রিয়ায়, নিউক্লিয়াসের বিভাজনের হার অত্যন্ত দ্রুত বৃদ্ধি পেতে থাকে এবং সমগ্র বিভাজন প্রক্রিয়াটি একটি শৃঙ্খলের মতো স্বতঃস্ফূর্তভাবে ঘটতে থাকে, সেই বিভাজন বিক্রিয়াকে শৃঙ্খল বিক্রিয়া বলে।

● **ক্রান্তিক ভর** (Critical mass) : নিউক্লিয় শৃঙ্খল বিক্রিয়ার একটি গুরুত্বপূর্ণ বিষয় হল, এই নিউক্লিয় শৃঙ্খল বিক্রিয়াটিকে চালু রাখতে হলে নিউক্লিয় বিভাজনক্ষম পদার্থটির পরিমাণ যথেষ্ট বেশি হওয়া প্রয়োজন।

নিউক্লিয় বিভাজনক্ষম কোনো পদার্থের ভর, একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ ভরের চেয়ে বেশি হলে, তবেই এই রকম নিউক্লিয় শৃঙ্খল বিক্রিয়া ঘটান সম্ভব হয়। বিভাজনক্ষম পদার্থের ওই নির্দিষ্ট পরিমাণ ভরটিকে ওর ক্রান্তিক ভর (Critical mass) বলে। U^{235}-এর ক্রান্তিক ভর = 1 kg থেকে 100 kg।

ক্রান্তিক ভরের চেয়ে বেশি ভরের $_{92}U^{235}$ নিলে, কেন্দ্রকের মধ্যে শৃঙ্খল বিক্রিয়া অত্যন্ত দ্রুতগতিতে ঘটে মুহূর্তের মধ্যে শৃঙ্খল বিক্রিয়াটি সম্পূর্ণ হয়ে বিপুল পরিমাণ শক্তি তাপ রূপে মুক্ত হয়, ফলে প্রচণ্ড বিস্ফোরণ ঘটে। একেই পরমাণু বোমা বলে।

● **নিউক্লিয় চুল্লি** (Nuclear Reactor) : এই বাঁধনহারা পারমাণবিক শক্তিকে নিয়ন্ত্রিত করতে পারলে এই বিপুল পরিমাণ তাপ শক্তিকে মানুষের কল্যাণকর কাজে ব্যবহার করা যায়। দ্রুতগতি সম্পন্ন গৌণ নিউট্রনগুলিকে উপযুক্ত পদার্থ দ্বারা শোষিত করে অথবা ওদের গতিবেগ কমিয়ে নিয়ন্ত্রিত বিভাজন ক্রিয়া ঘটানো সম্ভব। এই নীতির উপর নির্ভর করে বর্তমানে, নিউক্লিয় বিভাজন থেকে পাওয়া বিপুল শক্তিকে মানুষের কল্যাণকর কাজে ব্যবহারের জন্য তাপশক্তির বিপুল উৎস রূপে **নিউক্লিয় চুল্লি** তৈরি করা হয়েছে।

যে ব্যবস্থার সাহায্যে নিউক্লিয় শৃঙ্খল বিক্রিয়াকে নিয়ন্ত্রিত করে মানুষের কল্যাণকর কাজে ব্যবহারের জন্য বিপুল পরিমাণ তাপশক্তি উৎপন্ন করা হয়, তাকে নিউক্লিয় চুল্লি বলা হয়। চুল্লি থেকে প্রাপ্ত বিশাল পরিমাণ তাপশক্তি দ্বারা জলফুটিয়ে স্টিম উৎপন্ন করা হয় যা দ্বারা টারবাইন চালিয়ে তড়িৎ উৎপন্ন করা হয়। এই ব্যবস্থার 2টি অংশ আছে— **(a) গৌণ নিউট্রন নিয়ন্ত্রক (b) নিউক্লিয় চুল্লি।**

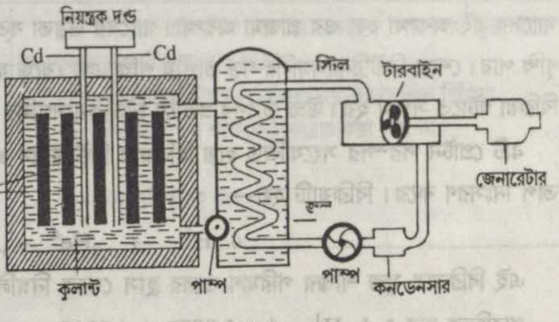
(a) **গৌণ নিউট্রন নিয়ন্ত্রক**—নিউক্লিয় বিভাজন বিক্রিয়ায় মুক্ত গৌণ নিউট্রনগুলির সংখ্যা কমিয়ে নিউক্লিয় বিভাজনকে নিয়ন্ত্রণ করা হয়। গৌণ নিউট্রনগুলিকে নিয়ন্ত্রণ করার কাজে **ক্যাডমিয়াম** এবং **বোরন** ব্যবহার করা হয়। ক্যাডমিয়াম ও বোরন গৌণ নিউট্রনগুলি শোষণ করে নিজ নিজ আইসোটোপে পরিণত হয় যেগুলি তেজস্ক্রিয় নয়।

$_{43}Cd^{113} + {}_0n^1 \rightarrow {}_{43}Cd^{114} + \gamma$ রশ্মি $\quad _5B^{10} + {}_0n^1 \rightarrow {}_5B^{11} + \gamma$ রশ্মি

(b) **নিউক্লিয় চুল্লি :** নিউক্লিয় চুল্লির প্রধান অংশটি হল চুল্লি। এই চুল্লির বিভিন্ন অংশগুলির বর্ণনা এবং কার্যপ্রণালী দেওয়া হল :

(1) জ্বালানি দণ্ড—বিভাজনক্ষম পদার্থ, যেমন U^{235}-এর অক্সাইডকে (U_2O_3) দণ্ডের আকারে জ্বালানি দণ্ড রূপে ব্যবহার করা হয়।

(2) নিয়ন্ত্রক দণ্ড—বিভাজন প্রক্রিয়াকে নিয়ন্ত্রিত রাখার জন্য Cd অথবা B কে নিয়ন্ত্রক দণ্ড রূপে ব্যবহার করা হয়। নিয়ন্ত্রক দণ্ডগুলিকে উপরে ওঠানো বা নীচে নামানো যায়। Cd বা B, বিভাজন ক্রিয়ায় উৎপন্ন গৌণ নিউট্রনগুলিকে শোষণ করে ওদের সংখ্যা নিয়ন্ত্রণ করে।



চিত্র 2.10 : নিউক্লিয় চুল্লি

(3) মডারেটার—নিউক্লিয় বিভাজন বিক্রিয়া ধীর গতি নিউট্রন দ্বারা সংঘটিত হয়। সুতরাং নিউক্লিয় বিভাজনে উৎপন্ন তীব্রগতি গৌণ নিউট্রনের বেগ কমিয়ে ধীর গতিতে আনা হয় যেন জ্বালানি দণ্ড (U^{235}) ওগুলিকে সহজে ধরতে পারে এবং আরও নিউক্লিয় বিভাজন বিক্রিয়া ঘটাতে পারে। এজন্য জ্বালানি দণ্ডগুলিকে ভারী জল (D_2O) দ্বারা বেষ্টিত রাখা হয়। D_2O গৌণ নিউট্রনগুলির বেগ কমায় কিন্তু ওদের শোষণ করে না। গ্রাফাইটকেও মডারেটার রূপে ব্যবহার করা যায়।

(4) কুলান্ট—চুল্লির ভেতরে উৎপন্ন বিপুল পরিমাণ তাপের পরিমাণ কমানোর জন্য একটি তরলকে (কুলান্ট) চুল্লির নীচের অংশ দিয়ে প্রবেশ করান হয়, যা উপরের অংশ দিয়ে তাপ সংগ্রহ করে বেরিয়ে আসে।

(5) এই কুলান্ট এর মধ্য দিয়ে নলের সাহায্যে জলের প্রবাহ করা হয়, কুলান্ট থেকে তাপ সংগ্রহ করে জল স্টিমে পরিণত হয়। এই স্টিম দ্বারা টারবাইন চালিয়ে জেনারেটর চালান হয় এবং বিদ্যুৎ উৎপন্ন করা হয়। তেজস্ক্রিয় বিকিরণ থেকে রক্ষা পাওয়ার জন্য এবং তাপকে ধরে রাখার জন্য চুল্লিটিকে পুরু বেধযুক্ত স্টিলের ঢাকনি দিয়ে বন্ধ রাখা হয়।

● নিউক্লিয় সংযোজন বিক্রিয়া (Nuclear fusion reactions) :

যে নিউক্লিয় বিক্রিয়ায় কয়েকটি হালকা মৌলের কেন্দ্রক পরস্পর সংযোজিত হয়ে অপেক্ষাকৃত ভারী কেন্দ্রক উৎপন্ন করে এবং সেই সঙ্গে বিপুল পরিমাণ শক্তির নিঃসরণ করে, তাকে নিউক্লিয় সংযোজন বিক্রিয়া বলে।

নিউক্লিয় সংযোজন বিক্রিয়া দ্বারা সংযোজনের ফলে উৎপন্ন কেন্দ্রকগুলির মধ্যে অন্তত একটি কেন্দ্রক মূল কেন্দ্রকগুলির চেয়ে বেশি ভর সম্পন্ন হয়।

নিউক্লিয় সংযোজনের ফলে উৎপন্ন নতুন নিউক্লিয়াসগুলির মোট ভর, মূল নিউক্লিয়াসগুলির মোট ভরের চেয়ে কম হয়। সংযোজন বিক্রিয়ার ফলে, এভাবে যে পরিমাণ ভরের হ্রাস হয়, তা বিপুল পরিমাণ তাপ শক্তিতে রূপান্তরিত হয়।

নিউক্লিয় সংযোজন বিক্রিয়ায় ভরের হ্রাস এবং বিপুল পরিমাণ শক্তির উদ্ভবের কয়েকটি উদাহরণ নীচে দেখানো হল—

সংযোজন বিক্রিয়া	ভরের হ্রাস	মুক্ত শক্তি kJ/mol
$_1H^2 + {}_1H^2 \longrightarrow {}_2He^4$	0·026	23×10^8
$_1H^2 + {}_1H^3 \longrightarrow {}_2He^4 + {}_0n^1$	0·012	17.2×10^8
$4{}_1H^1 \longrightarrow {}_2He^4 + {}_1e^0 + {}_1e^0$	0·029	26×10^8
		মোট $66·2 \times 10^8$

সংযোজন বিক্রিয়া কী করে ঘটান যায়—(i) সাধারণ হাইড্রোজেন ($_1H^1$), ডয়টেরিয়াম $_1H^2$, ট্রাইটিয়াম $_1H^3$ প্রভৃতির কেন্দ্রকগুলি হল পজিটিভ আধানযুক্ত কণা। সুতরাং এই কণাগুলির মধ্যে কুলম্বীয় বিকর্ষণ বল ক্রিয়া করবেই। আবার খুব উচ্চ শক্তি সম্পন্ন $_1H^2$ কণা দ্বারা সংযোজন বিক্রিয়া ঘটে না। সুতরাং সংযোজন বিক্রিয়া ঘটার জন্য ত্বরণ যন্ত্রের সাহায্যে ডয়টেরন কণাগুলিকে তীব্র গতি সম্পন্ন করে কণাগুলির সংযোজন বিক্রিয়া ঘটানো হয়।

(ii) কোনো বাস্তব গ্যাসকে উত্তপ্ত করে 10^7 ডিগ্রি সেলসিয়াস-এর বেশি উষ্ণতায় আনলে, গ্যাসের পজিটিভ আধানযুক্ত নিউক্লিয়াস এবং নেগেটিভ আধানযুক্ত ইলেকট্রনগুলি পরস্পর থেকে পৃথক হয়ে যায় এবং ইলেকট্রনগুলি স্বাধীনভাবে ঘুরে বেড়ায়। গ্যাসের এই অবস্থা হল ওর **প্লাজমা অবস্থা**। গ্যাসের উষ্ণতা যত বাড়ে নিউক্লিয়াস এবং ইলেকট্রনগুলির গড় তাপীয় শক্তি তত বৃদ্ধি পায়। শেষে নিউক্লিয়াসগুলির গড় তাপীয় শক্তি এত বেড়ে যায় যে, তারা কুলম্বীয় বিকর্ষণ বলকে অতিক্রম করে সংযোজন বিক্রিয়া ঘটাতে সক্ষম হয়। উচ্চ তাপের প্রভাবে নিউক্লিয়াসগুলির এইরকম সংযোজন বিক্রিয়াকে **তাপীয় নিউক্লিয় বিক্রিয়া** বলে।

4টি প্রোটন পরস্পর সংযোজিত হয়ে হিলিয়াম নিউক্লিয়াস এবং 2টি পজিট্রন উৎপন্ন করে এবং সেইসঙ্গে বিপুল পরিমাণ তাপ নিঃসরণ করে। বিক্রিয়াটি হল—

$$4\ {}_1H^1 \rightarrow {}_2He^4 + {}_{+1}e^0 + {}_{+1}e^0 + \text{শক্তি}$$

এই বিক্রিয়ায় মুক্ত শক্তির পরিমাণ ভরের হ্রাস থেকে নিম্নলিখিতভাবে নির্ণয় করা যায়।

প্রারম্ভিক ভর : $4\ {}_1H^1 = 4 \times 1{\cdot}0078 = 4{\cdot}0312$ a.m.u.

শেষ ভর : ${}_2He^4 = 4{\cdot}0026$ a.m.u. $\quad 2({}_{+1}e^0) = 0{\cdot}0011$ a.m.u. $\quad$ মোট ভর $= 4{\cdot}0037$ a.m.u.

সুতরাং বিক্রিয়ায় ভর হ্রাস $= (4{\cdot}0312 - 4{\cdot}0037) = 0{\cdot}0275$ a.m.u.

রূপান্তরিত শক্তির পরিমাণ = $(0{\cdot}0275 \times 931 = 25{\cdot}7$ MeV। **আপাতদৃষ্টিতে এই শক্তির পরিমাণ কম মনে হলেও, সামান্য পরিমাণ হাইড্রোজেনের মধ্যে যে কোটি কোটি পরমাণু আছে সেগুলিকে ধরলে এই শক্তির পরিমাণ হবে বিপুল—প্রতি কেজি হাইড্রোজেনে প্রায় 20 কোটি কিলোওয়াট ঘণ্টা।**

তাপ-নিউক্লিয় পদ্ধতিতে শক্তি উৎপন্ন করতে হলে অতি উচ্চ উষ্ণতার প্রয়োজন হয়। পারমাণবিক বোমা বিস্ফোরণের সময় এই রকম উচ্চ উষ্ণতার সৃষ্টি হয়। এখন যদি পারমাণবিক বোমার সঙ্গে, নিউক্লিয় সংযোজন ঘটায় এমন পদার্থ, যেমন ডয়টেরিয়াম, হাইড্রোজেন ইত্যাদি রাখা হয়, তাহলে পরমাণু বোমার বিস্ফোরণে উৎপন্ন অতি উচ্চ উষ্ণতায় হাইড্রোজেন এবং তার আইসোটোপগুলির মধ্যে সংযোজন বিক্রিয়া আরম্ভ হয়। বিক্রিয়া একবার শুরু হলে, বিক্রিয়ায় উৎপন্ন তাপ ওই মৌলগুলির সংযোজনের জন্য উষ্ণতা বজায় রাখে এবং উপস্থিত উপাদানগুলি নিঃশেষ না হওয়া পর্যন্ত ওই প্রক্রিয়া চলতে থাকে এবং খুব কম সময়ের মধ্যে সমগ্র পদার্থটি সংযোজন বিক্রিয়ার দ্বারা নিঃশেষ হয়ে যায়। এর ফলে যে প্রচণ্ড বিস্ফোরণের সৃষ্টি হয় তা পারমাণবিক বোমার বিস্ফোরণের চেয়ে বহুগুণ বেশি হয়। এই ধরনের বোমাকেই **হাইড্রোজেন বোমা** বলা হয়।

নিয়ন্ত্রিত সংযোজন বিক্রিয়া : বর্তমানে বিজ্ঞানীরা সংযোজন বিক্রিয়াকে, নিউক্লিয় বিভাজনের চেয়ে বেশি গুরুত্ব দিচ্ছেন। এর কারণ হল—

(i) বিভাজন বিক্রিয়ার চেয়ে সংযোজন বিক্রিয়া দ্বারা একই পরিমাণ ভরকে বেশি পরিমাণ শক্তিতে রূপান্তরিত করা যায়।

(ii) পৃথিবীতে ইউরেনিয়ামের উৎসের পরিমাণ কম এবং তাও ক্রমে শেষ হয়ে আসছে। অপরদিকে সংযোজন বিক্রিয়ায় ডয়টেরিয়াম বা ট্রাইটিয়াম সহজলভ্য, সুলভ এবং উৎস অপরিমিত। সমুদ্রের জল প্রচুর পরিমাণে ডয়টেরিয়াম সরবরাহ করতে পারে। আবার লিথিয়াম-6 সহজলভ্য, এর উপর নিউট্রন কণা বর্ষণ করে ট্রাইটিয়াম পাওয়া যায়। ${}_3Li^6 + {}_0n^1 \rightarrow {}_1H^3 + {}_2He^4$

(iii) বিভাজন বিক্রিয়ার শেষে প্রাপ্ত অবশেষ বিপজ্জনক এবং **অত্যন্ত ক্ষতিকারক তেজস্ক্রিয় জঞ্জাল সৃষ্টি করে**। একে সাধারণত সমুদ্রে ফেলা হয়। ভবিষ্যতে এগুলি থেকে তেজস্ক্রিয় বিকিরণের ফলে মানব জাতির ক্ষতি হতে পারে। **সংযোজন বিক্রিয়ায় এই রকম কোনো তেজস্ক্রিয় অবশেষ পড়ে থাকে না**। বিজ্ঞানীরা ${}_1H^2$ অথবা ${}_1H^3$-এর সংযোজনকে নিয়ন্ত্রিত করে উৎপন্ন শক্তিকে মানুষের কল্যাণকর কাজে ব্যবহার করার জন্য চেষ্টা করে যাচ্ছেন। কিন্তু তিনটি প্রধান বাধার সম্মুখীন হতে হচ্ছে—প্রথমত, সংযোজন বিক্রিয়া শুরু করার জন্য প্রায় **10^8 ডিগ্রি সেলসিয়াস উষ্ণতার প্রয়োজন**। দ্বিতীয়ত, এই প্রচণ্ড উষ্ণতা সহ্য করতে পারে এমন কোনো বিক্রিয়া পাত্র পাওয়া অসম্ভব। তৃতীয়ত, সংযোজন বিক্রিয়া থেকে উৎপন্ন শক্তি নিষ্কাশনের জন্য উপযুক্ত পদ্ধতি আবিষ্কার করা।

● **নিউক্লিয় বিভাজন ও সংযোজন বিক্রিয়ার মধ্যে পার্থক্য ঃ**

নিউক্লিয় বিভাজন	নিউক্লিয় সংযোজন
(1) এই বিক্রিয়ায় 1টি ভারী কেন্দ্রক অপেক্ষাকৃত কম ভর বিশিষ্ট দুটি মৌলের কেন্দ্রকে পরিণত হয়।	(1) দুই বা ততোধিক হালকা কেন্দ্রক পরস্পর যুক্ত হয়ে অপেক্ষাকৃত ভারী কেন্দ্রকে পরিণত হয়।
(2) বিভাজন বিক্রিয়াটি হল একটি শৃঙ্খল বিক্রিয়া।	(2) এই বিক্রিয়াটি শৃঙ্খল বিক্রিয়া নয়—সংযোজন বিক্রিয়া
(3) এই বিক্রিয়া থেকে প্রাপ্ত বিপুল পরিমাণ শক্তিকে নিয়ন্ত্রিত করে মানুষের কল্যাণকর কাজে ব্যবহার করা যায়।	(3) উৎপন্ন বিপুল শক্তিকে নিয়ন্ত্রিত করা যায় না।
(4) অবশেষরূপে প্রচুর তেজস্ক্রিয় জঞ্জাল থাকে যা জীবজগতের পক্ষে মারাত্মক।	(4) অবশেষে থাকে না।

● **সমাধান সহ কয়েকটি সমস্যা**

(1) $A \xrightarrow{-\alpha} {}_{87}B^{223} \xrightarrow{-\beta} C \xrightarrow{-\beta} D$

(i) উপরের তেজস্ক্রিয় পরিবর্তন সম্পূর্ণ করো। (ii) A এবং D মৌলের মধ্যে সম্পর্ক কী? (iii) A পর্যায় সারণির তৃতীয় শ্রেণিভুক্ত হলে C মৌলটি কোন্ শ্রেণিতে বসবে?

Ans. **(i)** তেজস্ক্রিয় পরমাণু থেকে 1টি α কণা নির্গত হলে উৎপন্ন নূতন পরমাণুটির ভরসংখ্যা 4 একক এবং পরমাণু ক্রমাঙ্ক 2 একক কমে যায়। অপর দিকে 1টি β কণার নিঃসরণে উৎপন্ন নতুন পরমাণুর ভরসংখ্যার কোনো পরিবর্তন হয় না, কিন্তু পরমাণু ক্রমাঙ্ক 1 একক বেড়ে যায়। সুতরাং উপরের পরিবর্তনটিকে সম্পূর্ণ করলে নীচের সমীকরণটি পাওয়া যায়।

$${}_{89}A^{227} \xrightarrow{-\alpha} {}_{87}B^{223} \xrightarrow{-\beta} {}_{88}C^{223} \xrightarrow{-\beta} {}_{89}D^{223}$$

(ii) দেখা যায় ${}_{89}A^{227}$ এবং ${}_{89}D^{223}$ পরমাণু দুটির ভরসংখ্যা পৃথক হলেও পরমাণু ক্রমাঙ্ক একই = 89. সুতরাং ${}_{89}A^{227}$ এবং ${}_{89}D^{223}$ পরমাণু দুটি হল পরস্পরের **আইসোটোপ**।

(iii) ফাজান্স এবং সডির গ্রুপ সরণ সূত্রানুযায়ী একটি α কণার নিঃসরণে সৃষ্ট নূতন অপত্য মৌলটির পরমাণু ক্রমাঙ্ক আদি মৌলের চেয়ে 2 একক কমে যায়। এর ফলে আদি মৌলটি পর্যায় সারণির যে শ্রেণিতে থাকে, অপত্য মৌলটি তার 2 ঘর বাম দিকে স্থান পায়। অপরদিকে 1টি β কণার নিঃসরণে অপত্য মৌলের পরমাণু-ক্রমাঙ্ক 1 একক বেড়ে যায় বলে পর্যায় সারণিতে ওর অবস্থান, আদি পরমাণুর অবস্থানের ডান দিকে 1 ঘর সরে যায়।

দেওয়া আছে, A মৌলটি পর্যায় সারণিতে IIIA শ্রেণিতে অবস্থান করে, সুতরাং ওই নিয়ম অনুযায়ী B মৌলটি পর্যায় সারণির IA শ্রেণিতে এবং C মৌলটি IIA শ্রেণিতে অবস্থান করবে।

(2) একটি তেজস্ক্রিয় মৌল ${}_{92}U^{238}$ মোট 8টি আল্‌ফা কণা এবং 6টি বিটা কণা বিকিরণ করে। উৎপন্ন নতুন মৌলটির পারমাণবিক ভর ও পরমাণু-ক্রমাঙ্ক কত হবে?

Ans. 1টি α-কণার বিকিরণের ফলে ভর কমে 4 একক এবং চার্জ অর্থাৎ পরমাণু-ক্রমাঙ্ক কমে 2 একক। সুতরাং 8টি α-কণা বিকিরণের ফলে ভর কমে $4 \times 8 = 32$ একক এবং পরমাণু-ক্রমাঙ্ক কমে $2 \times 8 = 16$ একক। সুতরাং 8টি α-কণা বিকিরণের পর শেষ নতুন পরমাণুটির ভর = $(238 - 32) = 206$ হবে এবং পরমাণু-ক্রমাঙ্ক = $(92 - 16) = 76$ হবে।

এরপর 6টি β কণা বিকিরণে পরমাণুর ভরের কোনো পরিবর্তন হবে না, অর্থাৎ শেষ নতুন পরমাণুটির ভর = 206 হবে। 1টি β কণা নির্গত হলে পরমাণু-ক্রমাঙ্ক 1 একক বেড়ে যায়, সুতরাং 6টি β কণা নির্গমনের জন্য 6 একক পরমাণু-ক্রমাঙ্ক বাড়বে অর্থাৎ নূতন নিউক্লিয়াইডের পরমাণু-ক্রমাঙ্ক $76 + 6 = 82$ হবে।

(3) তেজস্ক্রিয় মৌল ${}_{89}X^{227}$ থেকে আরম্ভ করে ক্রমাগত কয়েকটি আল্‌ফা ও বিটা কণা বিকিরণের ফলে শেষে তেজস্ক্রিয়হীন মৌল ${}_{82}Z^{207}$ উৎপন্ন হয়। সমস্ত প্রক্রিয়াতে কতগুলি α এবং কতগুলি β কণা নির্গত হয়েছে?

Ans. 1টি α-কণা বিকিরণে ভরসংখ্যা কমে 4 একক এবং পরমাণু-ক্রমাঙ্ক কমে 2 একক। এক্ষেত্রে প্রথম মৌলের ভরসংখ্যা = 227 এবং শেষ মৌলের ভরসংখ্যা = 207। সুতরাং মোট ভরসংখ্যা কমে = $(227 - 207) = 20$

$\therefore$ নির্গত α-কণার সংখ্যা = 20/4 = 5টি α-কণা।

আদি মৌলের পরমাণু-ক্রমাঙ্ক ছিল 89। সুতরাং 5টি α-কণা বেরিয়ে যাওয়ার জন্য পরমাণু-ক্রমাঙ্ক $5 \times 2 = 10$ একক কমে। সুতরাং শেষ নতুন পরমাণুটির পরমাণু-ক্রমাঙ্ক $(89-10) = 79$ হওয়া উচিত ছিল। কিন্তু শেষ পরমাণুর পরমাণু-ক্রমাঙ্ক = 82 অর্থাৎ $82-79 = 3$ একক পরমাণু-ক্রমাঙ্ক বেড়েছে। জানা আছে 1টি β-কণা নির্গত হলে ভরের পরিবর্তন হয় না কিন্তু পরমাণু-ক্রমাঙ্ক 1 একক বাড়ে। সুতরাং এই 3 একক পরমাণু-ক্রমাঙ্ক বেড়েছে 3টি β-কণা নির্গমনের জন্য। অতএব সমগ্র প্রক্রিয়াটিতে মোট 5টি α-কণা এবং 3টি β-কণা নির্গত হয়েছে।

***(4)** $_{92}U^{238}$ এর একটি আকরিকের মধ্যে $_{92}U^{238}$ এবং $_{82}Pb^{206}$ -এর ভরের অনুপাত $1 : 0{\cdot}1$. $_{92}U^{238}$ এর অর্ধায়ুকাল $4{\cdot}5 \times 10^9$ বৎসর। আকরিকটির বয়স নির্ণয় করো।*

Ans. দেওয়া আছে $_{92}U^{238} = 1$ g হলে $_{82}Pb^{206} = 0{\cdot}1$ g হবে।

এখন 206 g Pb আসে 238 g U থেকে $\therefore$ 0·1 g Pb আসে $\frac{238 \times 0{\cdot}1}{206} = 0{\cdot}115$ g $_{92}U^{238}$ থেকে

$\therefore$ এক্ষেত্রে $N_0 = (1 + 0{\cdot}115) = 1{\cdot}115$ g এবং $N = 1$ g ; $\lambda = \frac{0{\cdot}693}{T}$

এখন $t = \frac{2{\cdot}303}{\lambda} \log \frac{N_0}{N} = \frac{2{\cdot}303 \times T}{0{\cdot}693} \log N_0/N = \frac{2{\cdot}303 \times 4{\cdot}5 \times 10^9}{0{\cdot}693} \log \frac{1{\cdot}115}{1} = 7{\cdot}069 \times 10^8$ বৎসর।

***(5)** একটি রেডিও আইসোটোপ $_NA^M$, x সংখ্যক α কণা এবং y সংখ্যক β কণা বিকিরণ করে স্থায়ী আইসোটোপ $_{N-10}B^{M-32}$-তে পরিণত হয়। x এবং y-এর মান নির্ণয় করো।*

Ans. $_NA^M \longrightarrow {}_{N-10}B^{M-32} + x\,({}_2He^4) + y\,({}_{-1}e^0)$

ভরসংখ্যার সমীকরণ সমাধান হবে : $M = M - 32 + 4x + y \times 0$ বা, $x = 8$

পারমাণবিক সংখ্যার সমীকরণ সমাধান করে : $N = N - 10 + 2x + y(-1)$

বা, $N = N - 10 + 2 \times 8 - y$ বা, $y = 6$

***(6)** $_{92}U^{235}$-এর কেন্দ্রককে নিউট্রন কণা দিয়ে আঘাত করে বিভাজন বিক্রিয়া ঘটানোর ফলে $_{92}U^{235}$ নিউক্লিয়াসটি বিভাজিত হয়ে $_{37}Rb^{95}$ নিউক্লিয়াইড এবং অপর একটি নিউক্লিয়াইডে পরিণত হয় এবং সেই সঙ্গে তিনটি নিউট্রন কণার নিঃসরণ হয়। অজানা নিউক্লিয়াইডটিকে সনাক্ত করো।*

Ans. ধরি, অপর নিউক্লিয়াইডটি $_yA^x$ সুতরাং, $_{92}U^{235} + {}_0n^1 \rightarrow {}_{37}Rb^{95} + {}_yA^x + 3\,{}_0n^1$

ভরসংখ্যার সমীকরণ সমাধান করে, $235 + 1 = 95 + x + 3 \times 1$ বা, $x = 138$

পারমাণবিক সংখ্যায় সমীকরণ সমাধান করে, $92 = 37 + y$ বা, $y = 55$ $\therefore$ অপর নিউক্লিয়াইডটি হল— $_{55}A^{138}$

2.12. নিউক্লিয় পরমাণু সম্বন্ধে ধারণা [Concept of nuclear atom]

1808 খ্রিস্টাব্দে বিজ্ঞানী জন ডালটন পরমাণুবাদের অবতারণা করে বলেন—প্রতিটি মৌলিক পদার্থ অসংখ্য অতি ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণা দ্বারা গঠিত। তিনি এই ক্ষুদ্রাতিক্ষুদ্র কণাগুলির নাম দেন **অ্যাটম বা পরমাণু**। পরমাণু এত ছোটো যে খুব শক্তিশালী অণুবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যেও এদের দেখা যায় না। তবে বিজ্ঞানের বিভিন্ন নতুন নতুন আবিষ্কারের ফলে বর্তমানে বিজ্ঞানীরা জেনেছেন, তিনটি স্থায়ী প্রাথমিক কণা ইলেকট্রন, প্রোটন ও নিউট্রনের বিভিন্ন প্রকার সংযোগ এবং বিন্যাসের ফলেই বিভিন্ন ধর্ম বিশিষ্ট বিভিন্ন রকম মৌলের পরমাণুর সৃষ্টি হয়েছে।

(i) ইলেকট্রন : (*a*) ইলেকট্রনের আধান বা চার্জ : একটি ইলেকট্রনের চার্জ $= 4{\cdot}8 \times 10^{-10}$ e.s.u. $= 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ কুলম্ব। এর চেয়ে কম নেগেটিভ চার্জ অন্য কোনো কণায় নেই। এটি হল নেগেটিভ চার্জের সবচেয়ে কম পরিমাণ, তাই ইলেকট্রনের চার্জকে তড়িতের ক্ষুদ্রতম একক ধরা হয়।

(*b*) ইলেকট্রনের ভর : একটি ইলেকট্রন কণার ভর $= 9{\cdot}11 \times 10^{-28}$ গ্রাম $= 9{\cdot}11 \times 10^{-31}$ কিলোগ্রাম।
অর্থাৎ একটি ইলেকট্রনের ভর, একটি হাইড্রোজেন পরমাণুর ভরের $\frac{1}{1837}$ গুণ।

সব মৌলের পরমাণুর অন্যতম মূল কণা হল ইলেকট্রন যা পরমাণুর কেন্দ্রকের বাইরের অংশ গঠন করে। বিজ্ঞানী জে.জে.টমসন ইলেকট্রন আবিষ্কার করেন।

(ii) প্রোটন ঃ (*a*) **ভর ঃ একটি প্রোটনের ভর** = $1{\cdot}6725 \times 10^{-24}$ **গ্রাম** = $1{\cdot}6725 \times 10^{-27}$ **কিলোগ্রাম।**

(*b*) **চার্জ ঃ একটি প্রোটনের পজিটিভ তড়িতের পরিমাণ** = $4{\cdot}8 \times 10^{-10}$ e.s.u. = $1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ **কুলম্ব।**

প্রোটনও পরমাণুর অপর একটি মূল উপাদান যা পরমাণুর কেন্দ্রক গঠন করে। বিজ্ঞানী গোল্ডস্টাইন প্রোটন কণা আবিষ্কার করেন।

● **ইলেকট্রন, প্রোটন এবং নিউট্রন কণার প্রকৃতি ও বৈশিষ্ট্য ঃ**

কণার নাম	ভর (O = 16)	আধানের প্রকৃতি	তড়িৎ পরিমাণ	কণার ব্যাসার্ধ	অবস্থান	কণাটি কীভাবে পাওয়া যায়
ইলেকট্রন e $[_{-1}e^0]$	0·000548 a.m.u. বা $9{\cdot}11 \times 10^{-28}$ গ্রাম	নেগেটিভ তড়িৎ	$-1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ কুলম্ব বা $-4{\cdot}8 \times 10^{-10}$ e.s.u.	$2{\cdot}5 \times 10^{-13}$ সেমি	পরমাণুর কেন্দ্রকের বাইরে বিভিন্ন কক্ষে	ক্যাথোড রশ্মির মধ্যে
প্রোটন p $[_1H^1]$	1·00727 a.m.u. বা $1{\cdot}6725 \times 10^{-24}$ গ্রাম	পজিটিভ তড়িৎ	$+1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ কুলম্ব বা $+4{\cdot}8 \times 10^{-10}$ e.s.u.	$1{\cdot}2 \times 10^{-13}$ সেমি	পরমাণুর কেন্দ্রকে	H_2 গ্যাস দ্বারা উৎপন্ন পজিটিভ রশ্মির মধ্যে
নিউট্রন n $[_0n^1]$	1·00867 a.m.u. বা $1{\cdot}675 \times 10^{-24}$ গ্রাম	নিস্তড়িত	0	$1{\cdot}2 \times 10^{-13}$ সেমি	পরমাণুর কেন্দ্রকে	Be পরমাণুকে α-কণা দ্বারা আঘাত করে

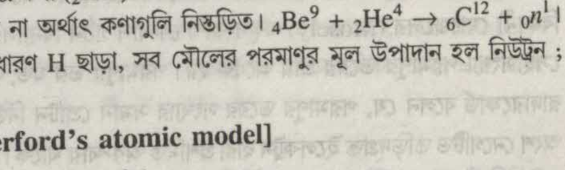
(iii) নিউট্রন ঃ (*a*) **নিউট্রন কণার ভর** = $1{\cdot}675 \times 10^{-24}$ **গ্রাম বা** = $1{\cdot}675 \times 10^{-27}$ **কিলোগ্রাম অর্থাৎ প্রোটনের ভরের প্রায় সমান। নিউট্রন কণা নিস্তড়িত। একই মৌলের ভিন্ন ভিন্ন পরমাণুতে ভিন্ন ভিন্ন সংখ্যক নিউট্রন কণা থাকতে পারে।** 1930 খ্রিস্টাব্দে **বুথ** এবং **বেকার** Be-এর কেন্দ্রককে তীব্র গতি সম্পন্ন α-কণা ($_2He^4$) বর্ষণ করে দেখেন যে Be থেকে এক নতুন ধরনের কণা নির্গত হয় যা তড়িৎ বা চৌম্বকক্ষেত্র দ্বারা প্রভাবিত হয় না অর্থাৎ কণাগুলি নিস্তড়িত। $_4Be^9 + {_2He^4} \rightarrow {_6C^{12}} + {_0n^1}$। 1932 খ্রিস্টাব্দে **স্যাডউইক** কণাগুলির নাম দেন নিউট্রন। সাধারণ H ছাড়া, সব মৌলের পরমাণুর মূল উপাদান হল নিউট্রন ; যা পরমাণুর কেন্দ্রকে অবস্থান করে।

2.13. রাদারফোর্ডের পরমাণুর মডেল [Rutherford's atomic model]

(A) নিউক্লিয়াস যুক্ত পরমাণুর ধারণা (Concept of nuclear atom) ঃ

রাদারফোর্ডের আল্‌ফা কণা বিচ্ছুরণ পরীক্ষা ঃ পরমাণুর মধ্যে কোন্ অংশে পজিটিভ তড়িদ্‌গ্রস্ত কণা প্রোটন থাকে এবং ইলেকট্রনগুলিই বা কীভাবে বিন্যস্ত থাকে জানার জন্য রাদারফোর্ড এই পরীক্ষা করেন।

পরীক্ষা ঃ তিনি একটি বায়ুশূন্য নলের মধ্যে 0·0004 মিমি বেধবিশিষ্ট খুব পাতলা সোনার পাতের উপর তীব্র গতিসম্পন্ন α-রশ্মি চালনা করেন। সোনার পাতটির পেছন দিকে ZnS দ্বারা প্রলিপ্ত একটি পর্দা রাখা থাকে। ওই পর্দার উপর α-কণা আঘাত করলে আঘাতপ্রাপ্ত বিন্দু থেকে আলোর ঝলকানি (scintillation) দেখে পর্দাটিতে α-কণার আঘাত শনাক্ত করা যায়। দেখা গেল, বেশির ভাগ α-কণা কোনো বিক্ষেপ না করেই ধাতুপাত ভেদ করে সরলরেখায় বেরিয়ে পর্দায় আঘাত করে। কিছু সংখ্যক α-কণা সামান্য কোণে বিক্ষিপ্ত হয়। খুব কম সংখ্যক আল্‌ফা কণা (20,000-এর মধ্যে মাত্র একটি) যে পথে যায়, পরমাণুর কোনো ভারী অংশের সঙ্গে ধাক্কা খেয়ে আবার সেই পথে ফিরে আসে।



চিত্র 2.11 ঃ সোনার পরমাণুর ওপর α-কণা বর্ষণের ফল

সিদ্ধান্ত ঃ এই পরীক্ষা করে রাদারফোর্ড সিদ্ধান্তে আসেন যে,

(i) α-কণার ভর ইলেকট্রনের ভরের চেয়ে প্রায় 7,500 গুণ বেশি। সেজন্য পরমাণুর ভেতর দিয়ে α-কণা অতিক্রম করার সময় ইলেকট্রনের সঙ্গে ধাক্কা লেগে কখনও বড়ো কোণে বেঁকে যেতে পারে না।

যেহেতু সোনার পাতটি পরমাণু দ্বারা গঠিত এবং বেশির ভাগ আল্‌ফা কণা কোন বাধা না পেয়ে সোজা বেরিয়ে যায়, এর

দ্বারা প্রমাণিত হয় যে, পরমাণু নিরেট নয়—পরমাণুর বেশির ভাগ স্থানই ফাঁকা। এইরকম ফাঁকা বলেই বেশির ভাগ α-কণা ওই ফাঁকা জায়গার মধ্যে দিয়ে বিনা বাধায় সোজা বেরিয়ে যেতে পারে।

(ii) পজিটিভ তড়িদ্গ্রস্ত এবং যথেষ্ট ভারী আল্‌ফা কণার ফিরে আসার ঘটনা দ্বারা প্রমাণিত হয় যে, পরমাণুর মধ্যে সম্পূর্ণ পজিটিভ তড়িৎ এবং পরমাণুর সমগ্র ভর, পরমাণুর আয়তনের তুলনায় অতি ক্ষুদ্র এক স্থানে কেন্দ্রীভূত থাকে। একে নিউক্লিয়াস বা কেন্দ্রক বলে। এই কারণেই খুব অল্প সংখ্যক α-কণা সমতড়িদ্গ্রস্ত নিউক্লিয়াসের কাছে এলে বিকর্ষিত হয়ে বড়ো কোণে বেঁকে যায়।

যে দু-একটি α-কণা সরাসরি পরমাণুর কেন্দ্রকের খুব কাছে যায় শুধু তারাই বিকর্ষিত হয়ে যে পথে যায় সেই পথে ফিরে আসে।

এই পরীক্ষার ভিত্তিতে 1911 খ্রিস্টাব্দে রাদারফোর্ড পরমাণুর গঠনের একটি চিত্র উপস্থিত করেন। পরমাণুর মধ্যে ইলেকট্রন এবং প্রোটন কণাগুলি কীভাবে অবস্থান করছে সে সম্পর্কে রাদারফোর্ড বলেন যে, পরমাণুর দুটি অংশ আছে—**(i) পরমাণু-কেন্দ্রক বা নিউক্লিয়াস ও (ii) কেন্দ্রক বা নিউক্লিয়াসের বাইরে ইলেকট্রন মহল।**

[i] পরমাণু-কেন্দ্রক বা নিউক্লিয়াস ঃ

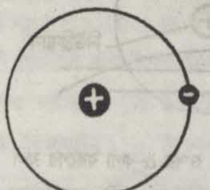
(a) প্রত্যেক পরমাণুর কেন্দ্রে পরমাণুর আয়তনের তুলনায় অতি ক্ষুদ্র আয়তনবিশিষ্ট গুরুভার এক কেন্দ্র আছে। এই কেন্দ্রকে **নিউক্লিয়াস** বা **কেন্দ্রক** বলে। নিউক্লিয়াসের ব্যাস হল সমগ্র পরমাণুর ব্যাসের এক লক্ষ ভাগের এক ভাগ মাত্র। পরমাণুর ভেতরটা যে নিরেট নয়—বিশাল ফাঁকা, এই দুটি ব্যাসের পরিমাণ থেকে তা বোঝা যায়।

(b) রাদারফোর্ডের মতে, এই নিউক্লিয়াসটি পজিটিভ তড়িদ্গ্রস্ত কণা প্রোটন দ্বারা গঠিত ; এর ফলে পরমাণুর সমগ্র পজিটিভ তড়িৎ নিউক্লিয়াসে অবস্থান করে। তাই নিউক্লিয়াসটি পজিটিভ তড়িদ্গ্রস্ত হয়।

(c) হাইড্রোজেন পরমাণুর কেন্দ্রে 1টি প্রোটন এবং কেন্দ্রের বাইরে 1টি ইলেকট্রন থাকে। রাদারফোর্ড দেখলেন যে, অনেক মৌলের পরমাণুর ভর হাইড্রোজেন পরমাণু-ভরের প্রায় পূর্ণসংখ্যার অখণ্ড গুণিতক। আবার প্রোটন হল ইলেকট্রন বর্জিত হাইড্রোজেন পরমাণু। তাই তিনি মনে করেন, নিউক্লিয়াসের মধ্যে পরমাণুর ভরের সমান সংখ্যক প্রোটন বর্তমান থাকে। কিন্তু বিজ্ঞানী মোজেলের (Mosely) এক্স-রশ্মি কেলাস গঠন বিন্যাস পরীক্ষায় জানা গেল, নিউক্লিয়াসের যত সংখ্যক প্রোটন আছে, সেই সংখ্যা পরমাণুর ভরের প্রায় অর্ধেক হয়। পরমাণুর ভর যত, তত সংখ্যক প্রোটন নিউক্লিয়াসে আছে—এই তথ্য ভুল। তখন রাদারফোর্ড বলেন যে, পরমাণুর ভরের সংখ্যার সমান প্রোটন নিউক্লিয়াসে থাকে, তবে এই পজিটিভ তড়িদ্গ্রস্ত কণাগুলির কিছু অংশ নেগেটিভ তড়িদ্গ্রস্ত ইলেকট্রন দ্বারা প্রশমিত অবস্থায় থাকে। এর ফলে অপ্রশমিত অর্থাৎ বাকি পজিটিভ চার্জবাহী প্রোটনগুলি পরীক্ষায় প্রাপ্ত নিউক্লিয়াসের পজিটিভ তড়িতের সমান হয়। এই পজিটিভ চার্জবাহী প্রোটনের সমান সংখ্যক ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসের বাইরে বিভিন্ন কক্ষে আবর্তন করে, ফলে পরমাণুটি নিস্তড়িত হয়। রাদারফোর্ডের মতে, প্রশমিত প্রোটন এবং অপ্রশমিত পজিটিভ চার্জবাহী প্রোটনের মোট সংখ্যাই পরমাণুর ভর সৃষ্টি করে। [ওই সময় নিউট্রন কণার আবিষ্কার হয়নি। পরবর্তীকালে প্রমাণিত হয়েছে যে, কেন্দ্রকের নিউট্রন এবং প্রোটন সংখ্যা পরমাণুর ভর নির্দেশক।]

[ii] নিউক্লিয়াসের বাইরে ইলেকট্রনমহল ঃ

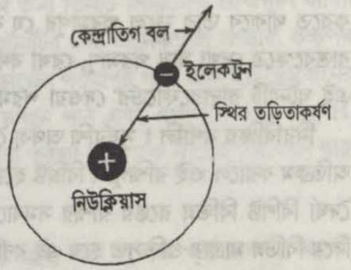
(a) পরমাণু নিস্তড়িত—কাজেই নিশ্চিতরূপে বলা যায় যে, পরমাণুর মধ্যে মোট পজিটিভ চার্জ এবং মোট নেগেটিভ চার্জের পরিমাণ সমান। পরমাণুর কেন্দ্রকে যতগুলি প্রোটন থাকে, ঠিক তত সংখ্যক ইলেকট্রন কেন্দ্রকের বাইরে বিভিন্ন কক্ষে আবর্তন করে। সুতরাং নিস্তড়িত পরমাণুর কেন্দ্রকের বাইরে অবস্থিত মোট ইলেকট্রনের সংখ্যা = কেন্দ্রকের মধ্যস্থ মোট প্রোটন সংখ্যা।



চিত্র 2.12 ঃ রাদারফোর্ডে H-পরমাণুর মডেল

(b) রাদারফোর্ডের পরমাণুর চিত্র অনেকটা সৌরজগতের মতো। সৌরজগতে যেমন সূর্যকে কেন্দ্র করে বিভিন্ন কক্ষপথে বিভিন্ন গ্রহগুলি নিজ নিজ কক্ষপথে আবর্তন করে চলেছে, ঠিক সেইভাবে পরমাণুর মধ্যে নিউক্লিয়াসকে কেন্দ্র করে ওর চারিদিকে বিভিন্ন সমকেন্দ্রিক বৃত্তাকার কক্ষে তীব্র বেগে ইলেকট্রনগুলি আবর্তন করে চলেছে। সমগ্র সৌরজগতের তুলনায় ওর কেন্দ্র সূর্য খুব সামান্য স্থান দখল করে আছে, তেমনি পরমাণুর মধ্যে সমগ্র পরমাণুর তুলনায় নিউক্লিয়াস খুব সামান্য স্থান দখল করে আছে। ইলেকট্রনগুলির মাঝে পরমাণুর বেশির ভাগ স্থানই ফাঁকা।

(c) পরমাণু চিত্র ঠিক এইরকম হলে সাধারণ নিয়ম অনুসারে কেন্দ্রের পজিটিভ চার্জবাহী প্রোটন এবং কেন্দ্রের বাইরে আবর্তনশীল নেগেটিভ চার্জবাহী ইলেকট্রনের মধ্যে পরস্পর তড়িৎ আকর্ষণের ফলে ইলেকট্রনগুলি একসময় নিউক্লিয়াসে গিয়ে পড়বে, কিন্তু কার্যত তা হয় না। এর কারণস্বরূপ রাদারফোর্ড বলেন, যেহেতু ইলেকট্রনগুলি নিউক্লিয়াসকে কেন্দ্র করে তীব্রবেগে ঘুরছে,—এই ঘূর্ণনের ফলে ইলেকট্রন দ্বারা সৃষ্ট **কেন্দ্রাতিগ বল** (Centrifugal force), ইলেকট্রনগুলিকে নিউক্লিয়াস থেকে দূরে সরাতে চেষ্টা করে। অপরদিকে নিউক্লিয়াসের পজিটিভ তড়িৎ ইলেকট্রনকে কেন্দ্রের দিকে আকর্ষণ করছে। এই দুই বিপরীতমুখী বলের ক্রিয়ায় ইলেকট্রনগুলি নিজ নিজ কক্ষে নিউক্লিয়াসের চারিদিকে আবর্তন করে চলেছে। সৌরজগতের গ্রহগুলি নিজ নিজ কক্ষে আবর্তন করে মহাকর্ষ বলের জন্য, আর পরমাণুর মধ্যে নিউক্লিয়াসকে কেন্দ্র করে ইলেকট্রনগুলি আবর্তন করে বিপরীতধর্মী তড়িৎ-আকর্ষণে। পরমাণুর মধ্যে প্রোটন এবং ইলেকট্রন কণাগুলি কীভাবে বিন্যস্ত আছে, উপযুক্ত ব্যাখ্যা সহ তার একটি ছবি বিজ্ঞানী রাদারফোর্ড এইভাবে আমাদের সামনে তুলে ধরলেন।



চিত্র 2.13 ঃ ইলেকট্রনের কেন্দ্রাতিগ বল ও নিউক্লিয়াসের তড়িৎ-আকর্ষণ বল

2.14. পারমাণবিক সংখ্যা বা পরমাণু-ক্রমাঙ্ক [Atomic number]

কোনো মৌলের পারমাণবিক সংখ্যা বা পরমাণু-ক্রমাঙ্ক বলতে ওই পরমাণুর কেন্দ্রকে অবস্থিত পজিটিভ চার্জের মোট একক সংখ্যা বোঝায়। যেহেতু প্রত্যেক প্রোটনে পজিটিভ চার্জের পরিমাণ এক একক, সুতরাং বলা যায়, কোনো পরমাণুর **নিউক্লিয়াসে অবস্থিত প্রোটনগুলির মোট সংখ্যাই হল ওই পরমাণুর পারমাণবিক সংখ্যা।** আবার পরমাণু নিস্তড়িত, অর্থাৎ পরমাণুর মোট পজিটিভ চার্জ = মোট নেগেটিভ চার্জ। সেজন্য নিউক্লিয়াসের প্রোটনের সংখ্যা = নিউক্লিয়াসের বাইরে বিভিন্ন কক্ষের ইলেকট্রনের সংখ্যা। অতএব 1টি পরমাণুর মোট ইলেকট্রন সংখ্যাও হল ওই পরমাণুর পারমাণবিক সংখ্যা।

অর্থাৎ, **পারমাণবিক সংখ্যা = প্রোটন সংখ্যা = ইলেকট্রন সংখ্যা।**

যেহেতু ইলেকট্রনের ভর নগণ্য সুতরাং পরমাণুর সমগ্র ভর হল ওর মধ্যস্থ প্রোটন এবং নিউট্রন কণার জন্য। যেহেতু এই কণাগুলির প্রত্যেকের ভর এক একক, সুতরাং প্রোটন ও নিউট্রনের সংখ্যার যোগফলই হল পরমাণুটির ভর সংখ্যা (mass number)।

নিউক্লিয়াসে যদি Z-সংখ্যক প্রোটন থাকে এবং N-সংখ্যক নিউট্রন থাকে, তবে পরমাণুটির **পারমাণবিক সংখ্যা = Z এবং পরমাণুটির ভরসংখ্যা** $M = (Z + N)$। বা, $M = Z + N$ বা, $Z = M - N$

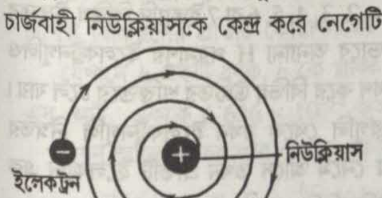
অর্থাৎ, **পারমাণবিক সংখ্যা = ভরসংখ্যা − নিউট্রন সংখ্যা**

পারমাণবিক সংখ্যা হল মৌলের মূলগত ধর্ম। কোনো মৌলের পারমাণবিক সংখ্যা নির্দিষ্ট এবং একটিই হয়। দুটি বিভিন্ন মৌলের পারমাণবিক সংখ্যা কখনোই এক হয় না, **মৌলের রাসায়নিক ধর্ম পারমাণবিক সংখ্যার উপর নির্ভর করে।** পারমাণবিক সংখ্যা পরিবর্তিত হলে মৌলের মূল ধর্ম পরিবর্তিত হয়ে নতুন ধর্মবিশিষ্ট মৌলে পরিণত হয়।

2.15. রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেলের ত্রুটি বা সীমাবদ্ধতা [Limitation of Rutherford's model]

রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেলের দুটি প্রধান অসংগতি দেখা যায় ঃ

(i) রাদারফোর্ডের পরমাণুর মডেল, পরমাণুর স্থায়িত্ব ব্যাখ্যা করতে পারে না। বিজ্ঞানী **নীলস্ বোর** জানান যে, পজিটিভ চার্জবাহী নিউক্লিয়াসকে কেন্দ্র করে নেগেটিভ চার্জবাহী ইলেকট্রনগুলি বৃত্তাকার পথে তীব্রগতিতে আবর্তন করে চলেছে। উভয় কণাই চার্জযুক্ত বলে পরমাণুর গঠনটি তড়িৎ-শক্তি দ্বারা প্রভাবিত হবে। তাই ইলেকট্রনের গতিও তড়িচ্চুম্বকীয় নিয়ম দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হবে। এই নিয়ম অনুযায়ী, যখন কোনো চার্জযুক্ত কণা তীব্র বেগে অপর একটি চার্জযুক্ত কণার চারিদিকে আবর্তন করে, তখন কণাটি তার চারপাশে একটি তড়িৎক্ষেত্রের সৃষ্টি করে। এই তড়িৎক্ষেত্র সৃষ্টি করার জন্য ইলেকট্রন থেকে সর্বদা কিছু পরিমাণ শক্তি বেরিয়ে যেতে থাকবে। সুতরাং নিউক্লিয়াসকে কেন্দ্র করে বৃত্তাকার পথে আবর্তন করার সময় নেগেটিভ চার্জবাহী ইলেকট্রন শক্তি বিকিরণ করে চলবে—এভাবে ক্রমাগত শক্তি হারাবার ফলে ওর গতিবেগ ক্রমশ কমে যাবে। ফলে ইলেকট্রনটির আবর্তনের কক্ষপথের ব্যাসার্ধ ক্রমশ কমতে থাকবে। ফলে



চিত্র 2.14 ঃ আবর্তনের জন্য ইলেকট্রন ক্রমশ শক্তি হারিয়ে এক সময় নিউক্লিয়াসে গিয়ে পড়বে

ইলেকট্রনটি ক্রমশ নিউক্লিয়াসের দিকে এগিয়ে যাবে এবং একসময় নিউক্লিয়াসের উপর গিয়ে পড়বে। অর্থাৎ কোনো পরমাণুরই ইলেকট্রনীয় গঠন থাকবে না। কিন্তু বিভিন্ন পরীক্ষায় প্রত্যেকটি পরমাণুর মধ্যে ইলেকট্রনের স্বাধীন অস্তিত্ব প্রমাণিত হয়েছে।

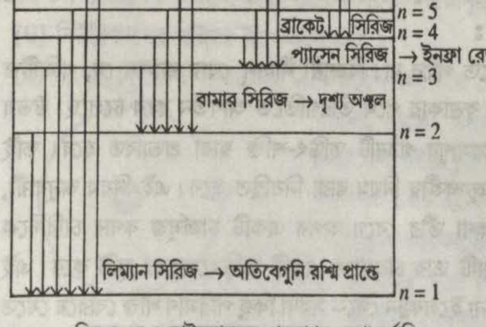
(ii) নিউক্লিয়াসের চারপাশে আবর্তনশীল ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসের দিকে ক্রমে এগিয়ে যেতে থাকলে যে অবিরাম শক্তি বিকিরণ করতে থাকবে তার ফলে **পরমাণুর যে বর্ণালি পাওয়া যাবে, সেটি হবে নিরবচ্ছিন্ন বর্ণালি** (Continuous spectrum)। কিন্তু বাস্তবক্ষেত্রে দেখা যায় পরমাণু, **রেখা বর্ণালি বা বিচ্ছিন্ন বর্ণালি** (Line spectrum or discontinuous spectrum) সৃষ্টি করে। এই ঘটনাটি রাদারফোর্ডের দেওয়া পরমাণুর মডেলের সঙ্গে সঙ্গতিপূর্ণ নয়।

নিরবিচ্ছিন্ন বর্ণালি ঃ সূর্যরশ্মি অথবা বৈদ্যুতিক বাতিতে উৎপন্ন সাদা আলোকরশ্মিকে স্পেক্‌ট্রোস্কোপ যন্ত্রে প্রিজমের মধ্য দিয়ে অতিক্রম করালে ওই রশ্মিগুলি বিশ্লিষ্ট হয়ে যে বর্ণালি সৃষ্টি করে, সেটি একটি **নিরবচ্ছিন্ন বর্ণালি**। সাদা আলো 7টি বিভিন্ন তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য বিশিষ্ট বিভিন্ন রঙের রশ্মির সমবায়ে গঠিত। ফলে, সাদা আলোর মধ্যস্থ 7টি বিভিন্ন বর্ণের আলোকরশ্মি প্রিজমের মধ্য দিয়ে বিভিন্ন মাত্রায় প্রতিসৃত হয়ে এই বর্ণালির সৃষ্টি করে। এই বর্ণালিতে রামধনুর 7টি রং পরপর অবস্থান করে। সবচেয়ে উপরে থাকে লাল এবং নীচে থাকে বেগুনি।

পারমাণবিক বর্ণালি ঃ কোনো গ্যাস যেমন H, অথবা কোনো মৌলের বাষ্পকে কমচাপে ইলেকট্রিক আর্কের মধ্যে রাখলে যে আলোর বিকিরণ হয়, তার মধ্যে কতকগুলি নির্দিষ্ট তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের রশ্মি বর্তমান থাকে। ওই বিভিন্ন তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য বিশিষ্ট রশ্মিগুলি স্পেক্‌ট্রোস্কোপের প্রিজমের মধ্য দিয়ে প্রতিসৃত হয়ে বিশ্লিষ্ট হওয়ার পর যে বর্ণালি উৎপন্ন করে, সেই বর্ণালি সাদা আলোর দ্বারা সৃষ্ট বর্ণালীর মত নিরবিচ্ছিন্ন নয়। এই জাতীয় বর্ণালি কতকগুলি বিশেষ তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের আলোকরেখার সমন্বয়ে গঠিত হয়। তাই এই জাতীয় বর্ণালির মধ্যে বিচ্ছিন্নভাবে পরপর কতকগুলি আলোকরেখা দেখা যায়। এই আলোকরেখাগুলি পরস্পর থেকে অন্ধকার স্থান দ্বারা পৃথক করা থাকে। এক-একটি আলোকরেখা নির্দিষ্ট তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য বিশিষ্ট তরঙ্গের স্থান অধিকার করে। এইরকম বিচ্ছিন্ন বর্ণালিকে **রেখা বর্ণালি** বলে। এই জাতীয় বর্ণালি সৃষ্টির জন্য দায়ী হল **মৌলের গ্যাসীয় বা বাষ্পীয় অবস্থায় উত্তেজিত পরমাণু**। তাই এই রকম বিচ্ছিন্ন রৈখিক বর্ণালিকে **পারমাণবিক বর্ণালি** (Atomic spectra) বলে। পারমাণবিক বর্ণালি কোন্ কোন্ নির্দিষ্ট তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের আলোকরেখার সমন্বয়ে গঠিত হবে এবং বর্ণালির মধ্যে আলোকরেখাগুলির অবস্থান কেমন হবে—এসবই নির্ভর করে উত্তেজিত পরমাণুটির প্রকৃতির উপর। দেখা গেছে যে, এই রেখা বর্ণালি বিভিন্ন মৌলের পরমাণুর ক্ষেত্রে বিভিন্ন হয়। তাই পারমাণবিক বর্ণালিকে মৌলের একটি বিশেষ ধর্ম বলা হয়। যেমন পটাশিয়াম বাষ্পের দ্বারা সৃষ্ট বর্ণালিতে তিনটি রেখার সৃষ্টি হয়—একটি বেগুনি এবং অপর দুটি লাল। সোডিয়াম বাষ্পের বর্ণালি বিশ্লেষণ করলে দুটি হলুদ রেখা পাওয়া যায়।

2.16. হাইড্রোজেন পরমাণুর রেখা বর্ণালি [Line spectra of hydrogen atom]

হাইড্রোজেন পরমাণুতে মাত্র 1টি ইলেকট্রন থাকলেও, ওর বর্ণালিতে অনেকগুলি রেখা পাওয়া যায়। এর কারণ হল H পরমাণুর স্থিতাবস্থায় ওর একটিমাত্র ইলেকট্রন $n = 1$, শক্তিস্তরে আবর্তন করে। বাইরে থেকে শক্তি (যেমন তাপ, আলো ইত্যাদি) শোষণ করে H পরমাণুটি উত্তেজিত অবস্থায় এলে ওর $n = 1$ কক্ষের ইলেকট্রনটি উচ্চতর শক্তি সম্পন্ন অন্য কোনো স্থায়ী কক্ষে চলে যায়। এখন যেহেতু কিছু পরিমাণ H_2 গ্যাসের মধ্যে অসংখ্য পরমাণু বর্তমান, তাই বিভিন্ন H পরমাণুর ইলেকট্রন, বিভিন্ন পরিমাণ শক্তি শোষণ করে $n = 1$ শক্তিস্তর থেকে $n = 2, 3, 4, 5, 6$ বা 7 ইত্যাদি বিভিন্ন উচ্চতর শক্তিস্তরে চলে যায়। এভাবে অন্যান্য H পরমাণুর ইলেকট্রনগুলিও নির্দিষ্ট পরিমাণ শক্তি শোষণ করে বিভিন্ন উচ্চতর শক্তিস্তরে চলে যায়। এবার ওই উচ্চশক্তি স্তরগুলি থেকে যখন ইলেকট্রনগুলি নিম্নতর যেকোনো কক্ষে লাফিয়ে নেমে আসে তখন প্রতিটি ইলেকট্রন এক একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ শক্তি বিকিরণ করে।



চিত্র 2.15 ঃ হাইড্রোজেন পরমাণুর রেখা বর্ণালি

উত্তেজিত অবস্থায় একটি ইলেকট্রন $n = 2, 3, 4$ ইত্যাদি যে কোনো কক্ষে চলে যেতে পারে। তারপর ওখান থেকে ইলেকট্রনটি নিম্নতর শক্তিবিশিষ্ট কোনো কক্ষে নেমে এলে, বিভিন্ন নিম্নতর কক্ষে নামার জন্য, উচ্চতর কক্ষের শক্তি এবং নিম্নতর কক্ষের শক্তির পার্থক্য অনুযায়ী বিভিন্ন কম্পাঙ্কের শক্তির বিকিরণ হবে

যেগুলিকে রেখাগুচ্ছের আকারে বর্ণালিতে দেখা যায়। ইলেকট্রন যখন $n_2 = 2, 3, 4, 5, 6, 7$ ইত্যাদি কক্ষ থেকে $n_1 = 1$ কক্ষে নেমে আসে তখন পাওয়া যায় লিম্যান সিরিজ। অনুরূপভাবে, ইলেকট্রন যখন $n_2 = 3, 4, 5, 6, 7$ ইত্যাদি কক্ষ থেকে $n_1 = 2$ কক্ষে ফিরে আসে তখন আমরা পাই **বামার সিরিজের বর্ণালি**। তেমনিভাবে $n_2 = 4, 5, 6, 7$ অথবা 8 কক্ষ থেকে ইলেকট্রন $n_1 = 3$ কক্ষে ফিরে আসে তখন পাওয়া যাবে **প্যাসেন সিরিজের** রেখাবর্ণালী। এভাবে অন্য তিনটি সিরিজের রেখাগুলি ব্যাখ্যা করা সম্ভব। তাই দেখা যায় যে H পরমাণুতে 1টি মাত্র ইলেকট্রন থাকলেও ওই ইলেকট্রনটির জন্য অনেকগুলি সম্ভাব্য কক্ষপথ থেকে যায়। এজন্য H_2-এর বর্ণালিতে অনেকগুলি রেখা পাওয়া যায়। বোর এভাবে হাইড্রোজেন পরমাণুর গঠন এবং হাইড্রোজেনের বর্ণালি ব্যাখ্যা করতে সফল হন। বামার প্রথমে হাইড্রোজেন বর্ণালিতে চারটি রেখার সন্ধান পান এবং এগুলিকে H_α, H_β, H_γ এবং H_δ নামে অভিহিত করেন। বামার দেখান যে, প্রত্যেকটি রেখার তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য অথবা তরঙ্গ-সংখ্যাকে নীচের সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়।

$\frac{1}{\lambda} = \bar{v} = R\left(\frac{1}{n_1} - \frac{1}{n_2}\right)$, যেখানে $\bar{v}$ = তরঙ্গ-সংখ্যা, অর্থাৎ 1 সেমি দৈর্ঘ্যের মধ্যে যত সংখ্যক পূর্ণতরঙ্গ λ থাকে।

R = রিড্‌বার্গ ধ্রুবক (Rydberg constant) যার মান প্রায় $\mathbf{1{\cdot}09678 \times 10^5\ cm^{-1} = 1{\cdot}09678 \times 10^7\ m^{-1}}$

আবিষ্কৃত ছটি বর্ণালি সিরিজ হল—

(i) লিম্যান সিরিজ **ঃ অতিবেগুনি রশ্মি প্রান্তে,** লিম্যান সিরিজের ক্ষেত্রে— $n_1 = 1$, $n_2 = 2, 3, 4, 5, 6, 7$ ইত্যাদি।

(ii) বামার সিরিজ **ঃ (4000Å – 7000Å), বামার সিরিজের ক্ষেত্রে—** $n_1 = 2$, $n_2 = 3, 4, 5, 6,$ ইত্যাদি হয়।

(iii) প্যাসেন সিরিজ **ঃ ইনফ্রা-রেড প্রান্তে 7000Å** প্যাসেন সিরিজের ক্ষেত্রে— $n_1 = 3$, $n_2 = 4, 5, 6, 7$ ইত্যাদি।

(iv) ব্রাকেট সিরিজ **ঃ ইনফ্রা-রেড প্রান্তে** ব্রাকেট সিরিজের ক্ষেত্রে— $n_1 = 4$, $n_2 = 5, 6, 7, 8$ ইত্যাদি।

(v) ফান্ড সিরিজ ঃ ইনফ্রা-রেডের দূর প্রান্তে, এই সিরিজের ক্ষেত্রে— $n_1 = 5$, $n_2 = 6, 7, 8$ ইত্যাদি।

(vi) হামফ্রিস সিরিজ ঃ ইনফ্রা-রেডের অতি দূর প্রান্তে, এই সিরিজের ক্ষেত্রে $n_1 = 6$, $n_2 = 7, 8$ ইত্যাদি।

2.17. প্লাঙ্কের কোয়ান্টাম তত্ত্ব [Plank's quantum theory]

আলোর সনাতন তরঙ্গ-তত্ত্ব দ্বারা আলোক-তড়িৎ ক্রিয়ার ঘটনাগুলির যুক্তিপূর্ণ ব্যাখ্যা করতে না পারায়, **ম্যাক্স-প্লাঙ্ক কোয়ান্টাম তত্ত্বের অবতারণা করেন।** এই তত্ত্বানুসারে,

(1) শক্তির নিঃসরণ বা শোষণ কখনোই নিরবিচ্ছিন্নভাবে ঘটে না। বিকীর্ণ শক্তি বিচ্ছিন্নভাবে এক একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ শক্তির প্যাকেট রূপে নিঃসৃত হয়—শক্তির শোষণও একইভাবে ঘটে। সুতরাং বিকিরিত বা শোষিত শক্তিকে অসংখ্য কণিকার সমষ্টি (প্যাকেট বা কোয়ান্টাম) রূপে কল্পনা করা যায়। অর্থাৎ শক্তির শোষণ ও বিকিরণ সর্বদা একটি অতিক্ষুদ্র কিন্তু নির্দিষ্ট পরিমাণ শক্তির পূর্ণ সংখ্যার গুণিতক হয়। এই অতিক্ষুদ্র নির্দিষ্ট পরিমাণ শক্তির প্যাকেটকে **কোয়ান্টাম বলা হয়।**

(2) প্রতি কোয়ান্টাম শক্তির পরিমাণ, বিকীর্ণ শক্তি তরঙ্গের কম্পাঙ্কের উপর নির্ভর করে। আলোর ক্ষেত্রে প্রতি কোয়ান্টাম শক্তিকে ফোটন বলা হয়।

(3) শক্তির প্রতি কোয়ান্টামে যে পরিমাণ শক্তি থাকে, তার মান বিকিরণের কম্পাঙ্কের (v) সমানুপাতিক হয়, অর্থাৎ v কম্পাঙ্ক বিশিষ্ট বিকিরণের প্রতিটি কোয়ান্টামের মোট শক্তি E হলে, $E \propto v$ বা, $E = hv$

যেখানে h একটি ধ্রুবক, h কে **প্লাঙ্ক ধ্রুবক** বলা হয়। h-এর মান সি.জি.এস. এককে $6{\cdot}626 \times 10^{-27}$ আর্গ-সেকেন্ড এবং এস. আই. এককে $6{\cdot}626 \times 10^{-34}$ জুল-সেকেন্ড।

এখন আলোক তরঙ্গের ক্ষেত্রে একটি ফোটনের শক্তির পরিমাণ = E, আলোক-তরঙ্গ দৈর্ঘ্য = λ এবং গতিবেগ = c হলে

$E = hv$ বা, $E = \frac{hc}{\lambda}$ [∵ **বেগ (c) = কম্পাঙ্ক (v) × তরঙ্গ দৈর্ঘ্য (λ) বা, কম্পাঙ্ক $v = c/\lambda$**]

(4) কোনো বস্তু দ্বারা শক্তির শোষণ বা বিকিরণ, সর্বদা একটি অতিক্ষুদ্র কিন্তু নির্দিষ্ট পরিমাণ শক্তির পূর্ণ সংখ্যার সরল গুণিতকে ঘটে। অর্থাৎ $E = nhv$, যেখানে $n = 1, 2, 3, 4$ .... অর্থাৎ একটি বস্তু hv, $2hv$, $3hv$ রূপে শক্তির শোষণ বা বিকিরণ করতে পারে কিন্তু কখনোই ভগ্নাংশের মানে অর্থাৎ $1{\cdot}5\ hv$ $2{\cdot}5\ hv$ ইত্যাদি রূপে শক্তির শোষণ বা বিকিরণ করে না।

উদাহরণ ঃ আলোর 5×10^{18} সংখ্যক ফোটনের শক্তি = 1·5 J। ওই আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত? $h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}$ Js

Ans. একটি ফোটনের শক্তি $E = h\nu = h \times \frac{c}{\lambda}$ $\therefore$ 5×10^{18} সংখ্যক ফোটনের শক্তি $E = \frac{hc \times 5 \times 10^{18}}{\lambda}$

বা, $\lambda = \frac{hc \times 5 \times 10^{18}}{E} = \frac{6 \cdot 63 \times 10^{-34}\,\text{J sec} \times 5 \times 10^{18} \times 3 \times 10^{8}\,\text{m sec}^{-1}}{1 \cdot 5\,\text{J}} = 6{\cdot}63 \times 10^{-8}$ m

2.18. বোরের হাইড্রোজেন পরমাণুর গঠনচিত্র ও সীমাবদ্ধতা [Bohr's model of hydrogen atom and its limitations]

বোরের পরমাণুর গঠন চিত্র ঃ হাইড্রোজেন পরমাণুর রেখা বর্ণালির সূক্ষ্ম বিশ্লেষণ করা হলে দেখা গেল যে, ইলেকট্রনগুলি যে কোনো বৃত্তে ঘুরতে পারে না। তখন বিজ্ঞানী নিলস্ বোর (Niels Bohr) 1913 খ্রিস্টাব্দে **প্লাঙ্কের কোয়ান্টাম তত্ত্বের সাহায্যে** পরমাণুর স্থায়িত্ব, হাইড্রোজেন পরমাণু দ্বারা সৃষ্ট রেখা বর্ণালি এবং বিভিন্ন কক্ষে ইলেকট্রনের আবর্তনের কারণ সম্পর্কে যুক্তিপূর্ণ ব্যাখ্যা দেন। কোয়ান্টাম তত্ত্ব অনুযায়ী শক্তির নিঃসরণ বা শোষণ কখনো নিরবচ্ছিন্নভাবে ঘটে না—বিকীর্ণ শক্তি বিচ্ছিন্নভাবে এক একটি অতিক্ষুদ্র কিন্তু নির্দিষ্ট পরিমাণ শক্তির প্যাকেট বা কোয়ান্টাম রূপে নিঃসৃত হয়। **শক্তির শোষণ বা বিকিরণ সর্বদা এই কোয়ান্টামের পূর্ণসংখ্যার গুণিতকে হয়।** প্রতি কোয়ান্টাম শক্তির পরিমাণ তরঙ্গের কম্পাঙ্কের উপর নির্ভর করে। যেমন, কোনো নির্দিষ্ট বিকিরণের জন্য শক্তির পরিমাণ = E এবং তরঙ্গের কম্পাঙ্ক = ν হলে, $E = h\nu$, h = প্লাঙ্ক ধ্রুবক।

● **বোরের মতবাদ অনুসারে পরমাণুর গঠনচিত্র তিনটি স্বীকার্যের ওপর নির্ভর করে।**

(1) স্থিত অবস্থার ইলেকট্রনীয় কক্ষপথ— কয়েকটি নির্দিষ্ট মানের ব্যাসার্ধের স্থায়ী বৃত্তাকার কক্ষপথ ছাড়া ইলেকট্রনগুলি নিজের ইচ্ছামতো যে কোনো ব্যাসার্ধের বৃত্তাকার কক্ষে আবর্তন করতে পারে না। এই নির্দিষ্ট কক্ষপথগুলিকে স্থিত অবস্থার ইলেকট্রনীয় কক্ষপথ বলে। এই নির্দিষ্ট বৃত্তাকার কক্ষপথগুলির ব্যাসার্ধ r এমন হবে, যেন ওই পথে আবর্তনের সময় ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ $mVr = \frac{nh}{2\pi}$ হয় অর্থাৎ শুধু সেইসব কক্ষপথেই ইলেকট্রন আবর্তন করতে পারবে যাদের ক্ষেত্রে ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ = $\frac{h}{2\pi}$ বা $\frac{h}{2\pi}$ রাশিটির পূর্ণসংখ্যার গুণিতক হবে। এখানে n = 1, 2, 3 ইত্যাদি যে কোনো পূর্ণসংখ্যা, যা নিউক্লিয়াস থেকে ইলেকট্রনের কক্ষপথের ক্রমিক সংখ্যা নির্দেশ করে, অর্থাৎ $n = 1$ অর্থে ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসের খুব কাছে অবস্থান করছে এবং $n = 5$ অর্থে ইলেকট্রন থেকে নিউক্লিয়াসের দূরত্ব বেশি। h = প্লাঙ্ক ধ্রুবক = $6{\cdot}626 \times 10^{-27}$ আর্গ-সেকেন্ড = $6{\cdot}626 \times 10^{-34}$ জুল-সেকেন্ড, r = কক্ষপথের ব্যাসার্ধ, m = ইলেকট্রনের ভর, V = ইলেকট্রনের গতিবেগ।

(2) প্রত্যেকটি কক্ষপথের শক্তি নির্দিষ্ট থাকে এবং ওই কক্ষে যে ইলেকট্রন আবর্তন করে তার শক্তিও ওই কক্ষের শক্তির সমান হয়। বিভিন্ন শক্তিবিশিষ্ট এই স্থায়ী বা স্থিত অবস্থার কক্ষপথগুলিকে বিভিন্ন শক্তিস্তর (Energy level) বলে।

(i) যতক্ষণ কোনো ইলেকট্রন একটি নির্দিষ্ট স্থিত অবস্থার কক্ষপথে থাকে ততক্ষণ ওই ইলেকট্রনটি মোটেই স্থির থাকে না—এই স্থিত অবস্থার কক্ষপথে আবর্তন করার সময় ওই ইলেকট্রন থেকে কোনো শক্তি বিকীর্ণ হয় না বা ইলেকট্রনটি কোনো শক্তি শোষণ করে না। এই অবস্থায় পরমাণুটির অভ্যন্তরীণ শক্তি স্থির থাকে। তাই এই অবস্থাকে পরমাণুর স্থিতাবস্থা (Stationary state) বলে।

(ii) যখন কোন ইলেকট্রন নির্দিষ্ট একটি স্থিত অবস্থার কক্ষ পথে থেকে অন্য কোনো নির্দিষ্ট শক্তির স্থিত কক্ষপথে যায়, কেবল তখনই ইলেকট্রনটি শক্তি শোষণ বা বর্জন করে। নিম্নতর কোনো শক্তিস্তর থেকে উচ্চতর অন্যকোনো শক্তিস্তরে ইলেকট্রন উন্নীত হলে একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ (প্যাকেট) শক্তি শোষণ করে কেন্দ্র থেকে দূরে অন্য কক্ষপথে চলে যায় এবং সেখানে থেকে নিউক্লিয়াসকে ঘিরে আবর্তন করতে থাকে। তখন পরমাণুটির শক্তিও একটি নির্দিষ্ট পরিমাণে বৃদ্ধি পায়। এই অবস্থায় পরমাণুটি **উচ্চতর শক্তিসম্পন্ন স্থিতাবস্থায় আসে।**

(iii) ঠিক একইভাবে একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ (প্যাকেট) **শক্তি বর্জন করে ইলেকট্রনটি কোনো উচ্চ শক্তিস্তর থেকে নিম্ন কোনো শক্তিস্তরে নেমে আসে। ইলেকট্রন কখনও দুটি কক্ষপথের মাঝে অর্থাৎ দুটি শক্তিস্তরের মাঝে থাকে না।**

(iv) নিউক্লিয়াস থেকে দূরত্ব অনুসারে **এই কক্ষপথগুলিকে যথাক্রমে** *K, L, M, N, O. P* **এবং** *Q* **এই সাতটি শক্তিস্তরে ভাগ করা হয়।** শক্তিস্তর নির্দেশ করার **এই চিহ্নগুলিকে মুখ্য কোয়ান্টাম সংখ্যা** (Principal quantum number) n বলে। এই শক্তিস্তরগুলিকে K স্তর (n =1), L স্তর (n =2), M স্তর (n = 3) এইভাবে চিহ্নিত করা হয়েছে। শক্তিধারণ ক্ষমতার ক্রমবর্ধমান পরিমাণ অনুযায়ী কক্ষপথগুলিকে নীচের মতো সাজানো যায়,

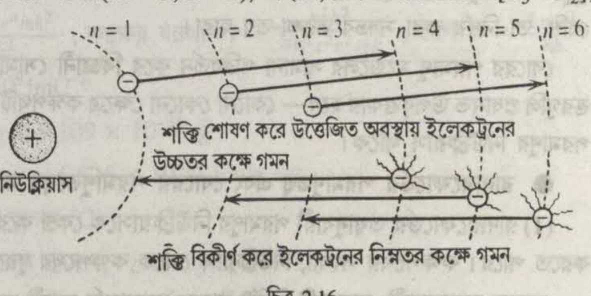
$$K\ (n = 1) < L\ (n = 2) < M\ (n = 3) < N\ (n = 4) \text{..........}$$ ইত্যাদি।

(3) কোনো স্থায়ী উচ্চতর শক্তিস্তর থেকে যদি কোনো ইলেকট্রন নিম্নতর কোনো শক্তিস্তরে লাফিয়ে নেমে আসে, তখন একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ শক্তি ওই ইলেকট্রন থেকে বেরিয়ে আসে এবং তখনই ইলেকট্রনটি নির্দিষ্ট পরিমাণ শক্তি তরঙ্গের আকারে বিকিরণ করে। আবার কোনো নির্দিষ্ট নিম্নতর শক্তিস্তর থেকে কোনো ইলেকট্রন উচ্চতর শক্তিস্তরে উঠে গেলে ইলেকট্রনটি নির্দিষ্ট পরিমাণ শক্তি শোষণ করে।

যেমন ধরি, M শক্তিস্তর থেকে একটি ইলেকট্রন L শক্তিস্তরে এলো ($M = 3, L = 2$), তাহলে, নির্গত শক্তি $\Delta E = [E_3 - E_2]$, E_3 এবং E_2 হল যথাক্রমে $M\ (n = 3)$ এবং $L\ (n = 2)$ কক্ষে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের উচ্চ এবং নিম্ন শক্তি। এর ফলে তরঙ্গের আকারে যে বাড়তি শক্তি বিকীর্ণ হবে, তার কম্পাঙ্ক ν হলে, $\Delta E = h\nu$ (h = প্লাঙ্ক ধ্রুবক),

বা, $h\nu = E_3 - E_2$ বা, $\nu = \frac{E_3 - E_2}{h} = \frac{\Delta E}{h}$

যেহেতু ΔE নির্দিষ্ট, অতএব কম্পাঙ্ক ν নির্দিষ্ট।



চিত্র 2.16

আবার, $\nu = c\bar{\nu}$ যেখানে $\bar{\nu}$ = তরঙ্গ সংখ্যা $= \frac{1}{\lambda}$ এবং λ = তরঙ্গ দৈর্ঘ্য। সুতরাং $\lambda = \frac{hc}{\Delta E}$. রেখা বর্ণালির প্রত্যেকটি রেখা নির্দিষ্ট তরঙ্গদৈর্ঘ্যের উপর নির্ভরশীল। এজন্য পরমাণুর বর্ণালিতে কতকগুলি নির্দিষ্ট রেখা পাওয়া যায়।

এখন দেখা যায় ইলেকট্রন বাইরে থেকে শক্তি গ্রহণ করে উচ্চতর শক্তিস্তরে চলে যায়, আবার ইলেকট্রনের শক্তি কমে গেলে নিম্নতর শক্তিস্তরে নেমে আসে। এইভাবে একাধিক শক্তিস্তরে যাওয়া-আসার ফলে বিভিন্ন শক্তিস্তরে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের শক্তি ক্রমশ কমে যায় না, ফলে নিউক্লিয়াসের উপর গিয়ে পড়ার সম্ভাবনা কখনও থাকে না।

● **বোরের পরমাণু মডেলের সাফল্য ঃ (i)** বোরের পরমাণু মডেলের প্রধান স্বীকার্য হল, কোনো ইলেকট্রন, কোনো একটি নির্দিষ্ট স্থিত কক্ষপথে আবর্তন করার সময় ওই ইলেকট্রন থেকে শক্তি বিকিরিত হবে না বা ওর দ্বারা শক্তি শোষিত হবে না। এই তত্ত্ব দ্বারা পরমাণুর স্থায়িত্ব ব্যাখ্যা করা যায়।

(ii) বোরের পরমাণু মডেল এক ইলেকট্রন বিশিষ্ট পরমাণু বা আয়নের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য— যেমন H পরমাণু, He^+, Li^{2+} এবং Be^{3+} আয়নের বিভিন্ন বর্ণালির ব্যাখ্যা দিতে পারে।

(iii) বোরের পরমাণু মডেল থেকে H পরমাণুর সর্বনিম্ন স্থিত অবস্থায় থাকাকালে ইলেকট্রনের কক্ষপথটির ব্যাসার্ধ নির্ণয় করা যায়, যার মান 0·529Å.

(iv) বোরের পরমাণু মডেল থেকে মুখ্য কোয়ান্টাম সংখ্যার ধারণা প্রথম পাওয়া যায়, যা পরবর্তীকালে অন্যান্য কোয়ান্টাম সংখ্যাগুলির সম্বন্ধে ধারণা করার পথ-প্রদর্শকরূপে কাজ করে।

(v) বোরের পরমাণু তত্ত্ব থেকে বিভিন্ন শক্তিস্তরে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের শক্তির পরিমাণ নির্ণয় করা সম্ভব হয়েছে এবং একটি ইলেকট্রন এক শক্তিস্তর থেকে অন্য শক্তিস্তরে গেলে কী পরিমাণ শক্তি বিকীর্ণ বা শোষিত হবে তা সহজে নির্ণয় করা সম্ভব হয়েছে এবং এর থেকে পারমাণবিক বর্ণালিতে সৃষ্ট বিভিন্ন রেখার ব্যাখ্যা করা সহজ হয়েছে।

(vi) H, He^+, Li^{++} আয়নগুলির আয়নায়ন বিভব (Ionisation potential) বোর-তত্ত্ব দ্বারা সহজে নির্ণয় করা যায়।

● **বোরের পরমাণু মডেলের ত্রুটি (Limitation of Bohr's atomic model) ঃ**

(1) বোরের পরমাণুটি হল দ্বিমাত্রিক, তাই **পরমাণুর প্রকৃত ত্রিমাত্রিক গঠন সম্বন্ধে কোনো ধারণা বোরের পরমাণু চিত্র থেকে পাওয়া যায় না।**

(2) বোরের পরমাণু গঠনচিত্রে ইলেকট্রনকে কণারূপে ধরা হয় এবং এই গঠন থেকে বিভিন্ন কক্ষে ইলেকট্রনের অবস্থান এবং আবর্তনের বিষয় জানা যায়। আধুনিক মতবাদ অনুযায়ী **ইলেকট্রন শুধু কণা নয়, এর তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ ধর্মও আছে,** কারণ ইলেকট্রনগুলি নিউক্লিয়াসের চারিদিকে বিভিন্ন সেলে বা শক্তিস্তরে তীব্রবেগে আবর্তন করে।

(3) চৌম্বকক্ষেত্রের প্রভাবে [জিম্যান এফেক্ট (Zeeman effect)] অথবা তড়িৎক্ষেত্রের প্রভাবে [স্টার্ক এফেক্ট (Stark effect)] রেখা বর্ণালির মধ্যস্থ আলোক রেখাগুলি ভেঙে আরো সূক্ষ্ম রেখায় পরিণত হয় কেন, তা বোরের তত্ত্ব ব্যাখ্যা করতে পারে না।

(4) ইলেকট্রনগুলিকে শুধুমাত্র কণারূপে বৃত্তাকার পথে আবর্তন করছে ধরা হলে একটি নির্দিষ্ট মুহূর্তে ওর অবস্থান এবং ভরবেগ নির্ণয় করা যায়। কিন্তু **হাইসেনবার্গের 'অনিশ্চয়তা নীতি'** (Uncertainty principle) প্রমাণ করে যে, কোনো নির্দিষ্ট মুহূর্তে পরমাণুর মধ্যে ইলেকট্রনের অবস্থান এবং ভরবেগ একই সঙ্গে নির্ণয় করা যায় না। সুতরাং বোরের মত অনুসারে ইলেকট্রনগুলি যে নিউক্লিয়াসকে কেন্দ্র করে বৃত্তাকার পথে আবর্তন করছে এই ধারণাটি ভুল। **হাইসেনবার্গ** প্রমাণ করেন যে, কোনো নির্দিষ্ট মুহূর্তে পরমাণুর মধ্যে ইলেকট্রনের সঠিক অবস্থান জানা কখনই সম্ভব নয়, তবে পরমাণুর কোন্ অঞ্চলে ওর অবস্থানের সম্ভাবনা বেশি, তা নির্ণয় করা সম্ভব তরঙ্গ-তত্ত্ব দ্বারা।

বোরের পরমাণু মডেলের সামান্য পরিবর্তন করে **বিজ্ঞানী সোমারফিল্ড** বলেন যে, ইলেকট্রনের আবর্তনের জন্য মুখ্য শক্তি স্তরগুলি প্রধানত উপবৃত্তকার হবে— কোনো কোনো ক্ষেত্রে কক্ষপথটি বৃত্তাকার হতে পারে। উপবৃত্তের যে কোনো একটি ফোকাসে পরমাণুর নিউক্লিয়াস থাকে।

● **রাদারফোর্ডের পরমাণুতত্ত্ব এবং বোরের পরমাণুতত্ত্বের মধ্যে পার্থক্য ঃ**

(1) রাদারফোর্ডের তত্ত্বানুযায়ী পরমাণুর নিউক্লিয়াসকে কেন্দ্র করে যে কোনো ব্যাসার্ধের বৃত্তাকার কক্ষপথে ইলেকট্রন আবর্তন করতে পারে। কক্ষপথের সংখ্যা, নিউক্লিয়াস থেকে কক্ষপথের দূরত্বের কথা এই তত্ত্বে বলা হয়নি।

বোরের তত্ত্বানুযায়ী, কয়েকটি নির্দিষ্ট মানের ব্যাসার্ধের স্থায়ী কক্ষপথ ছাড়া ইলেকট্রনগুলি নিজেদের ইচ্ছামতো যে কোনো ব্যাসার্ধের বৃত্তাকার পথে আবর্তন করতে পারে না।

(2) রাদারফোর্ডের তত্ত্বানুযায়ী নিউক্লিয়াসকে কেন্দ্র করে বৃত্তাকার পথে আবর্তন করার সময় নেগেটিভ চার্জবাহী ইলেকট্রন ক্রমশ শক্তি বিকিরণ করবে—ফলে ওর গতিবেগ কমে যাবে এবং কক্ষপথের ব্যাসার্ধ ক্রমে ছোটো হতে হতে একসময় ইলেকট্রনটি নিউক্লিয়াসে গিয়ে পড়বে অর্থাৎ কোনো পরমাণুরই ইলেকট্রনীয় গঠন থাকবে না।

বোরের তত্ত্বানুসারে বিভিন্ন শক্তিবিশিষ্ট কতকগুলি স্থায়ী কক্ষপথে আবর্তন করার জন্য ইলেকট্রনের শক্তির কোনো পরিবর্তন হয় না। সুতরাং ইলেকট্রন শক্তি হারিয়ে নিউক্লিয়াসে গিয়ে পড়ার কোনো সম্ভাবনা থাকে না। এই তত্ত্বানুসারে পরমাণুর স্থায়িত্ব ব্যাখ্যা করা যায়।

(3) রাদারফোর্ডের তত্ত্বানুযায়ী নিউক্লিয়াসকে কেন্দ্র করে **অবিরাম ঘূর্ণনের ফলে ইলেকট্রন নিরবচ্ছিন্নভাবে শক্তি বিকিরণ করবে। এর ফলে পরমাণু থেকে নিরবচ্ছিন্ন বর্ণালি পাওয়া উচিত, কিন্তু বাস্তবে বিচ্ছিন্ন রেখা বর্ণালি পাওয়া যায়।**

বোরের তত্ত্বানুযায়ী নিম্নতর শক্তিবিশিষ্ট কক্ষ থেকে উচ্চতর শক্তিবিশিষ্ট কক্ষে যাওয়ার সময় ইলেকট্রন একটা নির্দিষ্ট পরিমাণ শক্তি শোষণ করে। আবার উচ্চতর শক্তিবিশিষ্ট কক্ষ থেকে নিম্নতর শক্তিবিশিষ্ট কক্ষে ইলেকট্রন নেমে এলে ইলেকট্রন একটা নির্দিষ্ট পরিমাণ শক্তি বিকিরণ করে। $E_2 - E_1 = \Delta E = h\nu$. দুটি সুস্থিত কক্ষের শক্তির পার্থক্য ΔE স্থির, সুতরাং কম্পাঙ্ক ν স্থির, এইজন্য পরমাণু বিচ্ছিন্ন রেখা বর্ণালি সৃষ্টি করে।

(4) রাদারফোর্ডের তত্ত্ব দ্বারা H পরমাণুর বর্ণালির ব্যাখ্যা পাওয়া যায় না। বোরের তত্ত্ব দ্বারা H পরমাণুর বর্ণালি ব্যাখ্যা পাওয়া যায়।

● **তড়িচ্চুম্বকীয় বিকিরণ সংক্রান্ত কয়েকটি রাশি ঃ**

1. তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য (λ) (Wave-length) ঃ কোনো তরঙ্গের পরপর অবস্থিত দুটি শীর্ষের দূরত্বকে ওর **তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য** বলে। এর এককগুলি হল অ্যাংস্ট্রম (Å) ; **1Å = 10^{-8}cm = 10^{-10}m.**

2. কম্পাঙ্ক (ν) (Frequency) ঃ একটি নির্দিষ্ট বিন্দুর মধ্য দিয়ে এক সেকেন্ডে যত সংখ্যক তরঙ্গ অতিক্রম করে, ওই সংখ্যাকে ওই তরঙ্গের **কম্পাঙ্ক** বলে। এর একক হল **সাইকল পার সেকেন্ড** (c.p.s.) বা **হার্ৎজ** (Hz)।

3. তরঙ্গ-বেগ (c) (Velocity) ঃ এক সেকেন্ডে কোনো তরঙ্গ যে দূরত্ব অতিক্রম করে, তাকে ওই তরঙ্গের বেগ বলে। সব রকম তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গের বেগ $c = 3 \times 10^{10}$ cm/s $= 3 \times 10^8$ m/s।

তরঙ্গ-বেগ = তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য × কম্পাঙ্ক। অর্থাৎ, $c = \lambda \times \nu$ বা, $\nu = c/\lambda$ বা, $\lambda = c/\nu$

4. তরঙ্গ-সংখ্যা (Wave number) ঃ প্রতি সেন্টিমিটার দৈর্ঘ্যে কোনো তরঙ্গের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের সংখ্যাকে ওই তরঙ্গের তরঙ্গ-সংখ্যা বলে। একে $\bar{\nu}$ cm^{-1} চিহ্ন দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

$\bar{\nu} = 1/\lambda$ আবার, $\lambda = c/\nu$ $\therefore$ $\bar{\nu} = \nu/c$

● **বোর-কক্ষে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের শক্তি, ইলেকট্রনের বেগ, বিকীর্ণ শক্তির তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য এবং বোর কক্ষের ব্যাসার্ধ ঃ** বোরের পরমাণু-চিত্র অনুসারে, হাইড্রোজেন পরমাণুর r ব্যাসার্ধবিশিষ্ট কোনো শক্তিস্তরে আবর্তনশীল একটি ইলেকট্রনের শক্তি E, বেগ V, কক্ষের ব্যাসার্ধ r নীচের সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

C.G.S. এককে ঃ ইলেকট্রনের শক্তি $E_n = \frac{-2\pi^2 z^2 e^4 m}{n^2h^2}$ **; কক্ষের ব্যাসার্ধ** $r = \frac{n^2h^2}{4\pi^2 z^2 e^2 m}$ **; বেগ** $V = \frac{2\pi z e^2}{nh}$

S.I. এককে ঃ ইলেকট্রনের শক্তি $E_n = \frac{-2\pi^2 z^2 e^4 m k^2}{n^2h^2}$ **; কক্ষের ব্যাসার্ধ** $r = \frac{n^2h^2}{4\pi^2 z^2 e^2 mk}$ **; বেগ** $V = \frac{2\pi z e^2}{nh}$

যেখানে, k = ধ্রুবক $= 9 \times 10^9 \text{Nm}^2\text{C}^{-2} = 9 \times 10^9 \text{JmC}^{-2}$

m = ইলেকট্রনের ভর $= 9{\cdot}109 \times 10^{-28}\text{g} = 9{\cdot}109 \times 10^{-31}\text{kg}$

h = প্লাঙ্ক ধ্রুবক $= 6{\cdot}626 \times 10^{-27}$ erg sec $= 6{\cdot}626 \times 10^{-34}$ joule sec.

$e = 4{\cdot}8 \times 10^{-10}$ e.s.u. $= 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ কুলম্ব (C)

n = মুখ্য কোয়ান্টাম সংখ্যা, r = মুখ্য কক্ষের ব্যাসার্ধ, z = পরমাণু-ক্রমাংক

1. *(a) হাইড্রোজেন পরমাণুর প্রথম ও পঞ্চম বোর কক্ষের (n) ব্যাসার্ধ (r) নির্ণয়।*

এখন, $r_n = \frac{h^2n^2}{4\pi^2 z^2 me^2 k}$ এখন প্রথম বোর-কক্ষ (r_1) হলে $n = 1$ এবং $z = 1$

$$\therefore r_1 = \frac{h^2n^2}{4\pi^2 z^2 me^2 k} = \frac{(6{\cdot}626\times10^{-34})^2\times1^2}{4\times(3{\cdot}14)^2\times9{\cdot}109\times10^{-31}\times(1{\cdot}6\times10^{-19})^2\times9\times10^9} = 0{\cdot}529\times10^{-10}\text{m} = \mathbf{0{\cdot}529\text{Å}}$$

$r_5 = \frac{h^2 5^2}{4\pi^2 z^2 me^2 k}$ এখন $\frac{h^2}{4\pi^2 z^2 me^2 k} = 0{\cdot}529$ Å সুতরাং $r_5 = 0{\cdot}529 \times 5^2 = 13{\cdot}225$Å

2. *ইলেকট্রনের বেগ (V) নির্ণয় ঃ* n-তম কক্ষে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের বেগ $V = \frac{2\pi z e^2}{nh}$,

প্রথম কক্ষে ($n = 1$) ইলেকট্রনের বেগ

এখানে, $e = 4{\cdot}8 \times 10^{-10}$ e.s.u. $z = 1$, $h = 6{\cdot}626 \times 10^{-27}$ erg-s এবং $n = 1$

$\therefore$ প্রথম কক্ষে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের ঘূর্ণন বেগ $V = \frac{2\times3{\cdot}14\times(4{\cdot}8\times10^{-10})^2}{6{\cdot}626\times10^{-27}\times1}$

$$= 2{\cdot}18 \times 10^8 \text{ cm/sec} = 2{\cdot}18 \times 10^6 \text{ ms}^{-1}$$

সুতরাং, n-তম কক্ষে ইলেকট্রনের ঘূর্ণন বেগ $V_n = \frac{2{\cdot}18\times10^6}{n}$ ms^{-1}

3. ***n = 1** বোর-কক্ষে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের শক্তি (E) নির্ণয় ঃ*

প্রথম মুখ্য শক্তিস্তরে ($n = 1$) আবর্তনশীল ইলেকট্রনের শক্তি সবচেয়ে কম।

n মুখ্য শক্তিস্তরে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের শক্তি $E_n = -\frac{2\pi^2 m z^2 e^4 k^2}{h^2n^2}$

এখন প্রথম মুখ্য কক্ষে ($n = 1$) আবর্তনশীল ইলেকট্রনের শক্তি—

$$E_1 = -\frac{2\times(3{\cdot}14)^2\times9{\cdot}109\times10^{-31}\times(1{\cdot}6\times10^{-19})^4\times(9\times10^9)^2}{(6{\cdot}626\times10^{-34})^2\times1^2} = -2{\cdot}175\times10^{-18} \text{ Joule}$$

এখন, $\frac{2\pi^2 m z^2 e^4 k^2}{h^2} = R'$ ধ্রুবক। সুতরাং, R'-এর মান $= 2{\cdot}175 \times 10^{-18}$ J/atom

বা, $R' = 2{\cdot}175 \times 10^{-18} \times 10^7 = \mathbf{2{\cdot}175 \times 10^{-11}}$erg এখন, 1 Joule $= 6{\cdot}2419 \times 10^{18}$ eV

$\therefore$ $R' = 2{\cdot}175 \times 10^{-18} \times 6{\cdot}2419 \times 10^{18} = \mathbf{13{\cdot}58}$ **eV**

সুতরাং, **ধ্রুবক $R' = 2{\cdot}175 \times 10^{-18}$ Joule $= 2{\cdot}175 \times 10^{-11}$ erg $= 13{\cdot}58$ eV**

$\therefore$ কোনো বোর-কক্ষে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের শক্তি $E_n = -eV/n^2$ হবে।

$\therefore$ প্রথম কক্ষে ($n = 1$) আবর্তনশীল ইলেকট্রনের শক্তি $E_1 = -13{\cdot}58/1^2 = -13{\cdot}58$ eV

n_1 কক্ষ থেকে বেশি শক্তিবিশিষ্ট n_2-তে একটি ইলেকট্রন লাফিয়ে উঠলে প্রয়োজনীয় শক্তি

$$= E_2 - E_1 = \Delta E = \left[\frac{-13{\cdot}58}{n_2^2} - \left(\frac{-13{\cdot}58}{n_1^2}\right)\right] = -13{\cdot}58 \left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right]$$ অর্থাৎ, $\Delta E = R' \left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right]$

সুতরাং, প্রথম কক্ষ থেকে দ্বিতীয় কক্ষে ইলেকট্রন লাফিয়ে উঠলে,

প্রয়োজনীয় শক্তি $\Delta E = 13{\cdot}58 \left[\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2}\right] = 13{\cdot}58 \times \frac{3}{4} = \mathbf{10{\cdot}18\ eV}$

4. হাইড্রোজেন পরমাণুর প্রথম কক্ষ ($n = 1$) থেকে একটি ইলেকট্রনকে অসীম দূরত্বে সরিয়ে পজিটিভ আয়নে পরিণত করার জন্য প্রয়োজনীয় শক্তিকে পরমাণুটির আয়নীভবন বিভব (ionisation potential) বলে। সুতরাং, H পরমাণুর $n = 1$ কক্ষ থেকে একটি ইলেকট্রনকে অসীমে সরিয়ে দিতে প্রয়োজনীয় শক্তি $= 13{\cdot}58 \left[\frac{1}{1^2} - \frac{1}{\infty^2}\right] = 13{\cdot}58$ eV

দ্বিতীয় কক্ষ থেকে একটি ইলেকট্রনকে অসীম দূরত্বে সরাতে প্রয়োজনীয় শক্তি

$$= 13{\cdot}58 \left[\frac{1}{2^2} - \frac{1}{\infty^2}\right] = 13{\cdot}58 \times \frac{1}{4} = \mathbf{3{\cdot}395\ eV}$$

5. *বিকীর্ণ শক্তির তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য এবং কম্পাঙ্ক নির্ণয় ঃ*

$$E_{n_2} - E_{n_1} = \Delta E = h\nu = \frac{2\pi^2 z^2 me^4 k^2}{h^2}\left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right]$$

যেখানে, E_{n_1} = নিম্নতর কক্ষের শক্তি, E_{n_2} = উচ্চতর কক্ষের শক্তি, z = পরমাণু ক্রমাংক = 1,

m = ইলেকট্রনের ভর $= 9{\cdot}109 \times 10^{-31}$ kg, e = ইলেকট্রনের চার্জ $= 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C

h = প্ল্যাঙ্ক ধ্রুবক $= 6{\cdot}626 \times 10^{-34}$ Js $k = 9 \times 10^9$ Nm²/C²

এখন, $\nu = c/\lambda$ যেখানে c = বিকীর্ণ তরঙ্গের বেগ $= 3 \times 10^8\ ms^{-1}$, ν = বিকীর্ণ তরঙ্গের কম্পাঙ্ক, λ = তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য

$\bar{\nu}$ = তরঙ্গ-সংখ্যা হলে, $\frac{1}{\lambda} = \bar{\nu} = \frac{2\pi^2 z^2 me^4 k^2}{h^3 c}\left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right]$ রিডবার্গ ধ্রুবক $R = \frac{2\pi^2 z^2 me^4 k^2}{h^3 c}$

$$= \frac{2 \times (3{\cdot}14)^2 \times 1^2 \times 9{\cdot}109 \times 10^{-31} \times (1{\cdot}6 \times 10^{-19})^4 (9 \times 10^9)^2}{(6{\cdot}626 \times 10^{-34})^3 \times 3 \times 10^8} = 1{\cdot}09257 \times 10^7\ m^{-1}$$

$\therefore$ রিডবার্গ ধ্রুবক $\mathbf{R = 1{\cdot}09257 \times 10^7\ m^{-1} = 1{\cdot}09257 \times 10^5\ cm^{-1}}$

সুতরাং, $\frac{1}{\lambda} = \bar{\nu} = \frac{\nu}{c} = R\left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right]$ বা, $\nu = Rc\left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right]$

2.19. নিউক্লিয়াসের বাইরে বিভিন্ন কক্ষ এবং উপকক্ষের ইলেকট্রন-বিন্যাস [Electronic arrangements of extranuclear atom in different orbits and sub-orbits]

বোর (Bohr) এবং বেরি (Berry) পরমাণুর মধ্যে ইলেকট্রন-বিন্যাসের ব্যাখ্যা করে বলেন ঃ

(1) ইলেকট্রনগুলি নিউক্লিয়াসকে ঘিরে সমকেন্দ্রিক কিন্তু বিভিন্ন সমতলে অবস্থিত বিভিন্ন বৃত্তাকার এবং উপবৃত্তাকার পথে আবর্তন করছে। উপবৃত্তের যে কোনো একটি ফোকাসে পরমাণুর কেন্দ্রক বা নিউক্লিয়াস থাকে। পরমাণুর মধ্যে মোট 7টি কক্ষপথে ইলেকট্রনগুলি আবর্তন করতে পারে।

(2) কোয়ান্টাম সংখ্যা (Quantum number) ঃ কোনো মানুষের যেমন পরিচয় দেওয়া হয় তার সঠিক ঠিকানা দিয়ে, তেমনি পরমাণুর মধ্যে কোথায় কীভাবে কোনো নির্দিষ্ট ইলেকট্রন অবস্থান করছে তা জানা যায় ওর কোয়ান্টাম সংখ্যা দিয়ে। পরমাণুর মধ্যে কোনো ইলেকট্রনের সঠিক পরিচয় পাওয়া যায় 4টি কোয়ান্টাম সংখ্যা দ্বারা; যথা— **(*a*) মুখ্য কোয়ান্টাম সংখ্যা** (Principal

quantum number), (*b*) **গৌণ কোয়ান্টাম সংখ্যা** (Azimuthal quantum number), (*c*) **চৌম্বকীয় কোয়ান্টাম সংখ্যা** (Magnetic quantum number), (*d*) **ঘূর্ণন কোয়ান্টাম সংখ্যা** (Spin quantum number)।

(*a*) ইলেকট্রনের মুখ্য শক্তিস্তর এবং মুখ্য কোয়ান্টাম সংখ্যা (*n*) : (i) বোরের মত অনুযায়ী নিউক্লিয়াস থেকে ক্রমবর্ধমান দূরত্বে অবস্থিত ইলেকট্রনগুলির আবর্তনের জন্য সুস্থিত কক্ষপথগুলি এক-একটি শক্তিস্তর নির্দেশ করে। মুখ্য কোয়ান্টাম সংখ্যা *n*-এর মান থেকে নিউক্লিয়াস থেকে আবর্তনরত ইলেকট্রনের গড় দূরত্ব, ইলেকট্রনের কক্ষপথের আকার অর্থাৎ ছোটো না বড়ো এবং শক্তিস্তর সম্বন্ধে ধারণা পাওয়া যায়। এক-একটি সুস্থিত কক্ষপথে আবর্তনরত ইলেকট্রনের গড় শক্তির পরিমাণ নির্দিষ্ট থাকে। এই শক্তিকে $E = -\frac{2\pi^2 z^2 e^4 m}{h^2 n^2}$ সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়, যেখানে, $E = n$ মুখ্য কোয়ান্টাম সংখ্যার কক্ষপথে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের শক্তি, z = পরমাণু-ক্রমাঙ্ক, e = ইলেকট্রন চার্জ = $4{\cdot}8 \times 10^{-10}$ e.s.u., m = ইলেকট্রনের ভর = $9{\cdot}1 \times 10^{-28}$ গ্রাম, h = প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক = $6{\cdot}626 \times 10^{-27}$ আর্গ সেকেন্ড। কোয়ান্টাম সংখ্যা *n*-এর মান 1 থেকে আরম্ভ করে অসীম পর্যন্ত যে কোনো পূর্ণসংখ্যার হতে পারে। এজন্য এই কক্ষপথগুলিকে **মুখ্য শক্তিস্তর** বলা হয়। নিউক্লিয়াস থেকে ক্রমবর্ধমান দূরত্ব অনুযায়ী মুখ্য শক্তিস্তরগুলিকে নির্দেশ করার জন্য *K, L, M, N* ইত্যাদি অক্ষর দিয়ে কিংবা 1, 2, 3, 4, 5 ইত্যাদি সংখ্যা দিয়ে প্রকাশ করা হয়। এই সংখ্যাগুলিকে **মুখ্য কোয়ান্টাম সংখ্যা *n*** বলে। এই শক্তিস্তরগুলিকে *K* শক্তিস্তর ($n = 1$), *L* শক্তিস্তর ($n = 2$), *M* শক্তিস্তর ($n = 3$), *N* শক্তিস্তর ($n = 4$), *O* শক্তিস্তর ($n = 5$)—এইভাবে প্রকাশ করা হয়। নিউক্লিয়াসের সবচেয়ে কাছের মুখ্য শক্তিস্তর *K* স্তর ($n = 1$) সবচেয়ে কম শক্তিসম্পন্ন। নিউক্লিয়াস থেকে মুখ্য স্তরের দূরত্ব যত বৃদ্ধি পায়, মুখ্য স্তরের শক্তিও তত বৃদ্ধি পেতে থাকে। ক্রমবর্ধমান শক্তিমাত্রা অনুযায়ী মুখ্য শক্তিস্তরগুলিকে নীচের মতো সাজানো যায়—



চিত্র 2.17 : পরমাণুর বিভিন্ন মুখ্যস্তরে সর্বাধিক ইলেকট্রন সংখ্যা

$$K(n = 1) < L(n = 2) < M(n = 3) < N(n = 4) \text{ .... ইত্যাদি।}$$

(ii) মুখ্য শক্তিস্তরে সর্বাধিক ইলেকট্রন সংখ্যা : প্রত্যেক মুখ্য শক্তিস্তরে সর্বাধিক যত সংখ্যক ইলেকট্রন থাকতে পারে সেই সংখ্যা নির্দিষ্ট। এই সংখ্যাটি হল $2 \times n^2$, যেখানে n = মুখ্য শক্তিস্তরের বা কোয়ান্টাম সংখ্যা = 1, 2, 3 ইত্যাদি।

(iii) সবচেয়ে বাইরের মুখ্য শক্তিস্তরে আটটির বেশি ইলেকট্রন থাকতে পারে না। সবচেয়ে বাইরের মুখ্য শক্তিস্তরের ঠিক আগের মুখ্য শক্তিস্তরে 18টির বেশি ইলেকট্রন থাকবে না।

(iv) অনেক ক্ষেত্রে, বিশেষ করে ভারী পরমাণুর ক্ষেত্রে দেখা যায় ইলেকট্রন দ্বারা ভেতরের মুখ্য শক্তিস্তরটি ভর্তি না হলেও বাইরের স্তরটিতে ইলেকট্রন ভর্তি হতে পারে। সবচেয়ে বাইরের কক্ষে আটটি ইলেকট্রন স্থান পাওয়ার পর অন্য ইলেকট্রনগুলি পরের কক্ষে স্থান নিতে পারে।

(v) ভেতরের মুখ্য স্তরটি সম্পূর্ণ ভর্তি না হতেই, বাইরের মুখ্য স্তরটিতে যদি ইলেকট্রন ভর্তি হয়, তবে সবচেয়ে বাইরের স্তরটিতে **দুটির বেশি ইলেকট্রন থাকতে পারে না** এবং এর ঠিক আগের স্তরটিতে 18টির বেশি ইলেকট্রন থাকতে পারে না।

(*b*) গৌণ কোয়ান্টাম সংখ্যা (*l*) (Azimuthal quantum number *l*) : বোরের মতে ইলেকট্রনের আবর্তন পথগুলি শুধু বৃত্তাকার। পরে নানা গবেষণার পর **বিজ্ঞানী সোমারফিল্ড** বোরের পরমাণু চিত্রকে সংশোধন করে বলেন যে, ইলেকট্রনগুলি শুধু যে বৃত্তাকার পথেই আবর্তন করছে তা নয়, ইলেকট্রনগুলি সমকেন্দ্রিক ক্রমবর্ধমান উৎকেন্দ্রিকতা বিশিষ্ট বিভিন্ন তলে অবস্থিত উপবৃত্তাকার পথেও আবর্তন করে। তার মতে, শুধু কয়েকটি ক্ষেত্রে যখন $l = (n - 1)$ হয় তখনই ইলেকট্রনের আবর্তনপথ বৃত্তাকার হয়। *n*-এর যেকোনো মানের জন্য *l*-মান যত বেশি হয় পথের উৎকেন্দ্রিকতা তত কমতে থাকে। এভাবে তিনি গৌণ কোয়ান্টাম সংখ্যার (*l*) প্রবর্তন করেন। **মুখ্য শক্তিস্তরের অন্তর্ভুক্ত বৃত্তাকার এবং উপবৃত্তাকার শক্তিস্তরগুলিকে উপশক্তিস্তর** (Sub-shell) **বা উপকক্ষ বলে।** বিভিন্ন বৃত্তাকার এবং উপবৃত্তাকার উপকক্ষে ঘুরলেও ইলেকট্রনগুলি একই মুখ্যস্তরে আছে বলে ধরা হয় এবং ওগুলির শক্তি প্রায় সমান হয়।

ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগের জন্য অর্জিত যে শক্তি ইলেকট্রনটি পায়, এই গৌণ কোয়ান্টাম সংখ্যাটি তাই প্রকাশ করে। ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ = $\frac{h}{2\pi}\sqrt{l(l+1)}$, এছাড়া এই কোয়ান্টাম সংখ্যাটি উপকক্ষের আকার নির্দেশ করে।

গৌণ কোয়ান্টাম সংখ্যাকে l অক্ষর দ্বারা প্রকাশ করা হয়। একটি নির্দিষ্ট মুখ্য শক্তিস্তরের (n) ক্ষেত্রে l-এর মান 0 থেকে আরম্ভ করে $(n-1)$ পর্যন্ত যে কোনো পূর্ণসংখ্যার হতে পারে। এই l-এর মান 0, 1, 2, 3 ইত্যাদি না লিখে, এদের যথাক্রমে s, p, d, f ইত্যাদি অক্ষর দিয়ে প্রকাশ করা হয়। বাস্তবে দেখা গেছে, কোনো মুখ্য শক্তিস্তরের সর্বাধিক উপকক্ষের সংখ্যা 4।

(ii) বিভিন্ন মুখ্যশক্তিস্তরের উপকক্ষের সংখ্যা ঃ কোনো মুখ্য শক্তিস্তরকে যে সংখ্যা দ্বারা প্রকাশ করা হয়, সেই মুখ্য শক্তিস্তরে তত সংখ্যক উপকক্ষ উপস্থিত থাকে। যেমন,

K মুখ্যস্তরের মুখ্য কোয়ান্টাম সংখ্যা $n = 1$, সুতরাং এই স্তরে 1টি উপকক্ষ $l = 0$ অর্থাৎ একটি s উপকক্ষ থাকবে। এই উপকক্ষকে 1s রূপে প্রকাশ করা হয়।

L মুখ্যস্তরের মুখ্য কোয়ান্টাম সংখ্যা $n = 2$, তাই এই মুখ্যস্তরে 2টি উপকক্ষ $l = 0$, $l = 1$ অর্থাৎ 1টি s এবং 1টি p উপকক্ষ থাকবে। এই উপকক্ষকে 2s, 2p রূপে প্রকাশ করা হয়।

M মুখ্যস্তরের মুখ্য কোয়ান্টাম সংখ্যা $n = 3$, সুতরাং এই মুখ্যস্তরে 3টি উপকক্ষ $l = 0$, $l = 1$, $l = 2$ অর্থাৎ 1টি s, 1টি p এবং 1টি d উপকক্ষ থাকবে। এই উপকক্ষকে 3s, 3p, 3d রূপে প্রকাশ করা হয়।

N মুখ্যস্তরের মুখ্য কোয়ান্টাম সংখ্যা $n = 4$, সুতরাং এই মুখ্যস্তরে 4টি উপকক্ষ $l = 0$, $l = 1$, $l = 2$, $l = 3$ অর্থাৎ 1টি s, 1টি p, 1টি d এবং 1টি f উপকক্ষ থাকবে। এই উপকক্ষকে 4s, 4p, 4d, 4f রূপে প্রকাশ করা হয়।

বিভিন্ন মুখ্য শক্তিস্তরগুলির অন্তর্গত উপশক্তিস্তরগুলির সংখ্যা এবং শক্তি-নির্দেশক মান নীচে দেওয়া হল ঃ

মুখ্য শক্তিস্তর	মুখ্য কোয়ান্টাম সংখ্যা n	মোট উপকক্ষ সংখ্যা	উপকক্ষগুলির (l-এর) মান এবং চিহ্ন			
			0	1	2	3
K	1	1	1s			
L	2	2	2s	2p		
M	3	3	3s	3p	3d	
N	4	4	4s	4p	4d	4f

(iii) কক্ষক বা অর্বিট্যাল এবং বিভিন্ন উপকক্ষের সর্বোচ্চ ইলেকট্রন ধারণ ক্ষমতা ঃ দেখা গেল বিভিন্ন মুখ্য শক্তিস্তরের (n) ইলেকট্রনগুলি এক বা একাধিক উপকক্ষের মধ্যে থাকতে পারে। s, p, d, f উপকক্ষগুলির অন্তর্নিহিত শক্তি বিভিন্ন—তাই ওই উপকক্ষগুলিতে যে ইলেকট্রনগুলি আবর্তন করে তাদের শক্তিও বিভিন্ন হয়। প্রতিটি উপকক্ষ এক বা একাধিক কক্ষক বা অর্বিট্যালের সমন্বয়ে গঠিত। যেমন, s উপকক্ষটি 1টি s-অর্বিট্যাল দিয়ে গঠিত, p উপকক্ষটি 3টি p-অর্বিট্যালের সমন্বয়ে গঠিত। d উপকক্ষ 5টি d-অর্বিট্যাল এবং f উপকক্ষ 7টি f-অর্বিট্যাল দ্বারা গঠিত। **প্রতি অর্বিট্যালে সর্বোচ্চ দুটি ইলেকট্রন থাকতে পারে।** সুতরাং প্রত্যেকটি উপকক্ষের ইলেকট্রন ধারণের একটি সর্বোচ্চ ক্ষমতা আছে।

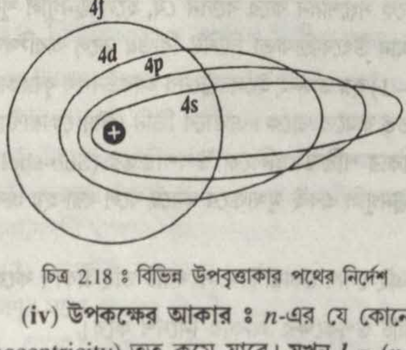
$l = 0$ অর্থাৎ s উপকক্ষে 1টি s অর্বিট্যাল থাকায় সর্বাধিক $1 \times 2 = 2$টি ইলেকট্রন থাকতে পারে।

$l = 1$ অর্থাৎ p উপকক্ষে 3টি p অর্বিট্যাল থাকায় সর্বাধিক $3 \times 2 = 6$টি ইলেকট্রন থাকতে পারে।

$l = 2$ অর্থাৎ d উপকক্ষে 5টি d অর্বিট্যাল থাকায় সর্বাধিক $5 \times 2 = 10$টি ইলেকট্রন থাকতে পারে।

$l = 4$ অর্থাৎ f উপকক্ষে 7টি f অর্বিট্যাল থাকায় সর্বাধিক $7 \times 2 = 14$টি ইলেকট্রন থাকতে পারে।

প্রথম মখ্যস্তরের ($n = 1$) একটি s উপকক্ষে মোট অর্বিট্যাল সংখ্যা $= 1^2 = 1$টি। **1s অর্বিট্যাল** সর্বাধিক ইলেকট্রন সংখ্যা $= 1 \times 2 = 2$.



চিত্র 2.18 ঃ বিভিন্ন উপবৃত্তাকার পথের নির্দেশ

দ্বিতীয় মুখ্যস্তরের ($n = 2$) 2টি উপকক্ষে মোট অর্বিট্যাল সংখ্যা $= 2^2 = 4$টি। **2s** উপকক্ষে 1টি s এবং **2p** উপকক্ষে 3টি p অর্বিট্যাল আছে। সুতরাং মোট e সংখ্যা $= (1 \times 2) + (3 \times 2) = 8$টি।

তৃতীয় মুখ্যস্তরের ($n = 3$) 3টি উপকক্ষে মোট অর্বিট্যাল সংখ্যা $= 3^2 = 9$টি। এর **3s** উপকক্ষে 1টি s অর্বিট্যাল, **3p** উপকক্ষে 3টি p অর্বিট্যাল এবং **3d** উপকক্ষে 5টি d অর্বিট্যাল আছে। মোট ইলেকট্রন সংখ্যা $= (1 \times 2) + (3 \times 2) + (5 \times 2) = 18$.

(iv) উপকক্ষের আকার ঃ n-এর যে কোনো মানের জন্য l-এর মান যত বেশি হবে, উপবৃত্তাকার পথের উৎকেন্দ্রিকতা (eccentricity) তত কমে যাবে। **যখন $l = (n-1)$ হয়, তখন উপবৃত্তটি বৃত্তে পরিণত হয়।** যেমন—

প্রথম মুখ্যস্তরে ($n = 1$), $1s$ উপকক্ষের মান $l = 0$, এখানে $l = (n - 1) = (1 - 1) = 0$ হয়, তাই **1s উপকক্ষটি বৃত্তাকার হবে।**

দ্বিতীয় মুখ্যস্তরে ($n = 2$), $2s$ উপকক্ষের মান $l = 0$, এখানে $l < (n - 1)$ হয়, তাই **2s উপকক্ষটি উপবৃত্তাকার হবে।** $2p$ উপকক্ষের মান $l = 1$, এখানে $l = (n - 1)$ হয়, সুতরাং **2p উপকক্ষটি বৃত্তাকার হবে।**

তৃতীয় মুখ্যস্তরে ($n = 3$), $3s$ উপকক্ষের মান $l = 0$ এবং $3p$ উপকক্ষের মান $l = 1$। এদের ক্ষেত্রে $l < (n - 1)$ হয়। তাই **3s এবং 3p উপকক্ষ উপবৃত্তাকার হবে।** কিন্তু $3d$ উপকক্ষের মান $l = 2$। সুতরাং এই ক্ষেত্রে $l = (n - 1)$ হয়। তাই **3d উপকক্ষটি বৃত্তাকার।**

চতুর্থ মুখ্যস্তরে ($n = 4$), $4s$, $4p$ এবং $4d$ উপকক্ষের l-এর মান যথাক্রমে 0, 1, 2। এদের প্রত্যেকের ক্ষেত্রে $l < (n - 1)$, কিন্তু $4f$ উপকক্ষের $l = 3$। এই ক্ষেত্রে $l = (n - 1)$ হয়। তাই **4f উপকক্ষটি বৃত্তাকার হয়।** চতুর্থ মুখ্যস্তরের বিভিন্ন উপকক্ষগুলি যেমন হবে, তা 2.17 চিত্রে দেখানো হল।

(c) চৌম্বকীয় কোয়ান্টাম সংখ্যা (m) ঃ বোর তত্ত্ব থেকে দেখানো যায় যে, ইলেকট্রনের কক্ষীয় আবর্তনের ফলে একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ চৌম্বক-ভ্রামকের সৃষ্টি হয়। উত্তেজিত পরমাণুকে চৌম্বক ক্ষেত্রে রেখে দিলে উৎপন্ন বর্ণালির প্রত্যেকটি রেখা কতকগুলি নির্দিষ্ট সংখ্যক পাশাপাশি রেখায় বিশ্লিষ্ট হয়ে যায়। এই ঘটনাকে **জীম্যান প্রভাব** (Zeeman's effect) বলে। এর থেকে প্রমাণিত হয় যে, যে কোনো উপকক্ষে **একটি ঘূর্ণায়মান ইলেকট্রন তার চারদিকে একটা চৌম্বকীয়-আবরণ সৃষ্টি করে।** এই ঘটনা থেকে বোঝা যায় যে, একই n এবং l দ্বারা প্রকাশিত উপকক্ষগুলির মধ্যে কতকগুলি উপকক্ষ ত্রি-দিকে বিভিন্ন অভিমুখে বিন্যস্ত থাকে। এই ঘটনার ব্যাখ্যার জন্য চৌম্বকীয় কোয়ান্টাম সংখ্যার (m) অবতারণা করা হয়েছে; এর মান নির্ণীত হয় l-এর মানের উপর। **একটি নির্দিষ্ট l মানের জন্য m-এর পরিমাণ $-l$ থেকে শুরু করে $+l$ পর্যন্ত হতে পারে এবং মোট সম্ভাবিত মানের সংখ্যা = $(2l + 1)$ হয়।** অর্থাৎ l-এর মান 1 হলে m-এর মান হবে −1, 0 + 1, তেমনি $l = 0$ হলে $m = 0$ হবে, $l = 3$ হলে m-এর মান হবে −3, −2, −1, 0, +1, +2, +3।

মুখ্যস্তর	কোয়ান্টাম সংখ্যা-n	উপশক্তি স্তর	গৌণ কোয়ান্টাম সংখ্যা-l	উপকক্ষে ইলেকট্রন $2(2l + 1)$	মুখ্যস্তরে মোট ইলেকট্রন সংখ্যা
K	$n = 1$	$1s$	$l = 0$	$2(2\times0+1) = 2$	2
L	$n = 2$	$2s$ $2p$	$l = 0$ $l = 1$	$2(2\times0+1) = 2$ $2(2\times1+1) = 6$	8
M	$n = 3$	$3s$ $3p$ $3d$	$l = 0$ $l = 1$ $l = 2$	$2(2\times0+1) = 2$ $2(2\times1+1) = 6$ $2(2\times2+1) = 10$	18

কোনো উপকক্ষ ত্রি-দিকে কীভাবে বিন্যস্ত আছে, উপকক্ষটির চৌম্বকীয় কোয়ান্টাম সংখ্যা (m) তাই প্রকাশ করে। উপরের টেবিলে পরমাণুর মুখ্য এবং গৌণ কোয়ান্টাম সংখ্যা, উপকক্ষে এবং মুখ্যস্তরে ইলেকট্রন সংখ্যা দেখানো হল।

(d) ঘূর্ণন কোয়ান্টাম (s) ঃ উপরে বর্ণিত তিনটি কোয়ান্টাম সংখ্যা দ্বারা বর্ণালির পূর্ণ বিবরণ দেওয়া সম্ভব। কিন্তু ক্ষার ধাতুর বর্ণালির ক্ষেত্রে কিছু জটিলতা দেখা যায় এবং বর্ণালির রেখাগুলি এতই সূক্ষ্ম যে তিনটি কোয়ান্টাম সংখ্যা দ্বারা ওগুলির ব্যাখ্যা করা সম্ভব হয়নি। এজন্য একটি চতুর্থ কোয়ান্টাম সংখ্যা অর্থাৎ ঘূর্ণন কোয়ান্টাম সংখ্যার প্রবর্তন করেন **উলেনবেক** এবং **গুডস্মিড**। পৃথিবী যেমন সূর্যের চারিদিকে ঘোরার সময় নিজ অক্ষের চারপাশে ঘোরে এবং তার ফলে আহ্নিক গতির সৃষ্টি হয়, তেমনি ইলেকট্রনও নিজ অক্ষের চারপাশে ঘোরে। এই ঘূর্ণন দুরকম হতে পারে—ঘড়ির কাঁটার অভিমুখে ঘূর্ণন, যাকে $+\frac{1}{2}$ বা ↑ দ্বারা প্রকাশ করা হয়, বা তার বিপরীত দিকে ঘূর্ণন, যাকে $-\frac{1}{2}$ বা ↓ চিহ্ন দ্বারা প্রকাশ করা হয়। ঘূর্ণন কোয়ান্টাম সংখ্যা দ্বারা এই দুরকম ঘূর্ণন এবং দু'রকম ঘূর্ণনের জন্য ইলেকট্রনের শক্তির সূক্ষ্ম পার্থক্যকে প্রকাশ করা হয়। **ঘূর্ণন কোয়ান্টাম সংখ্যা** দ্বারা ইলেকট্রনের ঘূর্ণনের প্রকৃতি জানা যায়।

সুতরাং দেখা গেল যে, পরমাণুর মধ্যে একটি ইলেকট্রনের অবস্থান এবং মোট শক্তি 4টি কোয়ান্টাম সংখ্যা n, l, m এবং s দ্বারা প্রকাশ করা যায়।

2.20. স্থিতাবস্থায় বহু ইলেকট্রনযুক্ত পরমাণুর ইলেকট্রন-বিন্যাস [Ground state electronic configurations of many-electron atoms]

পরমাণুর মধ্যে ইলেকট্রন বিন্যাস তিনটি নীতি অনুযায়ী ঘটে থাকে।

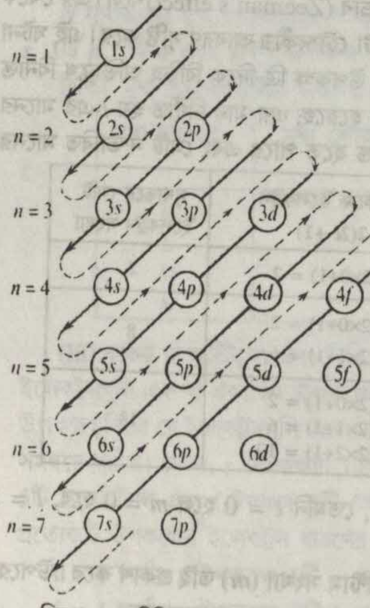
1. অফ্‌বাও নীতি (Aufbau Principal)—এই নীতি অনুসারে **পরমাণুর ভেতরে ইলেকট্রন প্রথমে নিম্নতর শক্তিসম্পন্ন অর্বিট্যালে পরে উচ্চতর শক্তিসম্পন্ন অর্বিট্যালে প্রবেশ করে।** অর্থাৎ এই নীতি অনুসারে—

কোনো পরমাণুর ইলেকট্রন-বিন্যাস করতে হলে মনে রাখতে হবে, **ইলেকট্রনগুলি প্রথমে সবচেয়ে নিম্ন শক্তিস্তরে অর্থাৎ সবচেয়ে কম শক্তিসম্পন্ন অর্বিট্যালে ভর্তি হয়। এই নিম্ন শক্তিস্তরটি ইলেকট্রন দ্বারা ভর্তি হলে পর, পরের উচ্চতর শক্তিসম্পন্ন অর্বিট্যালে ইলেকট্রন ভর্তি হতে শুরু করে।**

কোনো নিম্নতর শক্তিস্তরের অর্বিট্যাল খালি রেখে পরের উচ্চ শক্তিস্তরের অর্বিট্যালে ইলেকট্রন ভর্তি হতে পারে না। কাজেই 1টি পরমাণুর ইলেকট্রন-বিন্যাস জানতে হলে নিউক্লিয়াসের বাইরে বিভিন্ন শক্তিস্তর, উপশক্তিস্তর এবং অর্বিট্যালের শক্তির আপেক্ষিক মাত্রা জানতে হবে। ক্রমবর্ধমান শক্তি অনুযায়ী বিভিন্ন অর্বিট্যালগুলিকে নীচে সাজিয়ে দেখানো হল ঃ

শক্তিবৃদ্ধি⟶

1s	2s	2p	3s	3p	4s	3d	4p	5s	4d	5p	6s	4f	5d	6p



চিত্র 2.19 ঃ বিভিন্ন কক্ষকে ইলেকট্রন ভর্তি হওয়ার ক্রম

2.19 চিত্রে তীরচিহ্ন দিয়ে কোন অর্বিট্যালের পর কোন অর্বিট্যাল ইলেকট্রন দ্বারা ভর্তি হবে তা দেখানো হয়েছে। প্রতিটি তির চিহ্ন বরাবর মুখ্য শক্তিস্তর এবং উপকক্ষগুলি একের পর এক ইলেকট্রন দ্বারা ভর্তি হয়। প্রথমে 1*s* অর্বিট্যালে, পরে 2*s* অর্বিট্যালে ইলেকট্রন প্রবেশ করে। 2*s* উপকক্ষ ভর্তি হওয়ার পর 2*p* অর্বিট্যালে একের পর এক প্রবেশ করে। এভাবে 2*p* উপকক্ষ ভর্তি হলে পর ইলেকট্রন 3*s* অর্বিট্যালে প্রবেশ করে। এভাবে ইলেকট্রনগুলি একটি একটি করে বিভিন্ন শক্তিস্তরের ক্রমবর্ধমান মান অনুসারে বিভিন্ন শূন্য অর্বিট্যালগুলিকে পূর্ণ করে। এই প্রক্রিয়া চলে যতক্ষণ পর্যন্ত কোনো পরমাণুর ইলেকট্রনগুলির মোট চার্জ নিউক্লিয়াসের মোট চার্জের সমান না হচ্ছে। কোনো পরমাণুর পারমাণবিক সংখ্যা (প্রোটন সংখ্যা তথা ইলেকট্রন সংখ্যা) জেনে চিত্রে তীর চিহ্ন অনুযায়ী একটির পর একটি অর্বিট্যাল ইলেকট্রন দিয়ে ভর্তি করে গেলেই যে-কোনো পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাস জানা যাবে।

● **দুটি প্রায় সমশক্তিসম্পন্ন অর্বিট্যালের কোন্‌টিতে ইলেকট্রন আগে প্রবেশ করবে, দুটি পরীক্ষালব্ধ সূত্রের সাহায্যে অনেক ক্ষেত্রে তা জানা যায়।** সূত্র দুটি হল— **(i) দুটি অর্বিট্যালের মধ্যে ইলেকট্রন প্রবেশ করার সুযোগ প্রায় একই রকম থাকলে, ইলেকট্রনটি সেই অর্বিট্যালে প্রবেশ করবে, যার ক্ষেত্রে** $(n + l)$-এর মান অপেক্ষাকৃত কম হয়।

(ii) 2টি অর্বিট্যালের ক্ষেত্রেই যদি $(n + l)$-এর মান সমান হয়, তাহলে ইলেকট্রনটি সেই অর্বিট্যালে প্রবেশ করবে, যার n-এর মান কম। যেমন,

উদাহরণ ঃ (*a*) 1টি ইলেকট্রনের সামনে 3*d* এবং 4*s* অর্বিট্যালে প্রবেশ করার সুযোগ আছে। এখন,

3*d* অর্বিট্যালের ক্ষেত্রে, $n = 3$ এবং $l = 2$, সুতরাং $n + l = (3 + 2) = 5$

4*s* অর্বিট্যালের ক্ষেত্রে, $n = 4$ এবং $l = 0$, সুতরাং $n + l = (4 + 0) = 4$

যেহেতু 4*s* অর্বিট্যালের ক্ষেত্রে $(n + l)$ -এর মান অপেক্ষাকৃত কম, তাই এক্ষেত্রে 3*d* -এর পরিবর্তে 4*s* অর্বিট্যালেই ইলেকট্রনটি আগে প্রবেশ করবে।

(*b*) ধরি, 1টি ইলেকট্রনের পক্ষে 3*d* এবং 4*p* অর্বিট্যালে প্রবেশ করার সুযোগ প্রায় সমান।

3*d* অর্বিট্যালের ক্ষেত্রে, $n = 3$ এবং $l = 2$, সুতরাং $n + l = (3 + 2) = 5$

4*p* অর্বিট্যালের ক্ষেত্রে, $n = 4$ এবং $l = 1$, সুতরাং $n + l = (4 + 1) = 5$

দেখা গেল, 2টি অর্বিট্যালের ক্ষেত্রেই $(n + l)$-এর মান = 5, সুতরাং দ্বিতীয় সূত্রানুযায়ী যেহেতু 3*d* অর্বিট্যালের n-এর মান কম, তাই এক্ষেত্রে 3*d* অর্বিট্যালের ইলেকট্রনটি আগে প্রবেশ করবে।

● বিভিন্ন কোয়ান্টাম স্তরে ইলেকট্রন-বিন্যাস ●

মুখ্য কোয়ান্টাম সংখ্যা n	গৌণ কোয়ান্টাম সংখ্যা l	চুম্বকীয় কোয়ান্টাম সংখ্যা m	ঘূর্ণন কোয়ান্টাম সংখ্যা S	অর্বিট্যালের নাম	অর্বিট্যালে ইলেকট্রন সংখ্যা	মোট ইলেকট্রন সংখ্যা
1 K সেল	0	0	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$	1s	2	2
2 L-সেল	0	0	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$	2s	2	8
	1	+1	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$	2p	6	
		0	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$			
		−1	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$			
3 M-সেল	0	0	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$	3s	2	18
	1	+1	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$	3p	6	
		0	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$			
		−1	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$			
	2	+2	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$	3d	10	
		+1	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$			
		0	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$			
		−1	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$			
		−2	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$			

2. পাউলির অপবর্জন নীতি (Pauli's Exclusion Principle)—একটি পরমাণুর যে কোনো শক্তিস্তরে অবস্থিত কোনো 2টি ইলেকট্রনের, 4টি বিভিন্ন কোয়ান্টাম সংখ্যার মান কখনো এক হতে পারে না—একেই পাউলির অপবর্জন নীতি বলে। এই নীতি অনুযায়ী কোনো অর্বিট্যালে 2টি ইলেকট্রনের বেশি অবস্থান করতে পারে না এবং ইলেকট্রন দুটির নিজ নিজ অক্ষের চারপাশে ঘূর্ণন বিপরীতমুখী হবে। অর্থাৎ সংশ্লিষ্ট ইলেকট্রন দুটির ক্ষেত্রে একটি বা দুটি অথবা তিনটি কোয়ান্টাম সংখ্যার মান এক হতে পারে কিন্তু চারটি কোয়ান্টাম সংখ্যার মান কখনোই এক হতে পারে না। এই নীতিটির সাহায্যে পরমাণুর কোনো একটি নির্দিষ্ট কক্ষে সর্বোচ্চ ইলেকট্রন সংখ্যা নির্ণয় করা যায়। উপরের সারণি দেখলে পরিষ্কারভাবে বোঝা যাবে।

উপরের সারণিতে দেখা যায় যে প্রথম কক্ষের 2টি ইলেকট্রনের ক্ষেত্রেই মুখ্য, গৌণ এবং চৌম্বক কোয়ান্টাম সংখ্যার মান এক হলেও ঘূর্ণন কোয়ান্টাম সংখ্যার মান এক নয়—একটির ক্ষেত্রে +1/2 এবং অপরটির ক্ষেত্রে −1/2।

3. হুন্ডের সূত্র (Hund's rule)—এই সূত্রানুযায়ী. কোনো উপকক্ষের প্রতিটি অর্বিট্যাল একটি করে ইলেকট্রন দ্বারা পূর্ণ না হওয়া পর্যন্ত, সমশক্তিসম্পন্ন কোনো অর্বিট্যালে ইলেকট্রন যুগ্ম অবস্থায় থাকতে পারে না। অর্থাৎ যতক্ষণ পর্যন্ত সমশক্তি সম্পন্ন একাধিক অর্বিট্যাল খালি অবস্থায় থাকে ততক্ষণ নবাগত ইলেকট্রন একটি একটি করে প্রথমে ওই খালি অর্বিট্যালগুলি পূর্ণ করে। এভাবে সমশক্তি সম্পন্ন প্রতিটি খালি অর্বিট্যাল একটি করে ইলেকট্রন দ্বারা ভর্তি হওয়ার পর ওই সব একক ইলেকট্রন বিশিষ্ট অর্বিট্যালগুলির মধ্যে নবাগত এবং বিপরীত ঘূর্ণন যুক্ত ইলেকট্রন একটি করে প্রবেশ করে।

যেহেতু s উপকক্ষে একটিমাত্র অর্বিট্যাল থাকে, তাই s অর্বিট্যালে নবাগত ইলেকট্রন প্রবেশ করার সময় হুন্ডের সূত্র প্রয়োগের প্রশ্ন আসে না। তবে p বা d অর্বিট্যালের ক্ষেত্রে সূত্রটি প্রযোজ্য। যেমন p উপকক্ষে তিনটি অর্বিট্যাল বর্তমান, সুতরাং শূন্য বা আংশিক শূন্য p অর্বিট্যালে ইলেকট্রন ভর্তির সময় হুন্ডের সূত্রটি প্রযোজ্য হবে। নীচের চিত্রের সাহায্যে পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাসের

ক্ষেত্রে হুন্ডের সূত্রের প্রয়োগ দেখানো হল। এখানে □ চিহ্ন দ্বারা একটি অর্বিট্যাল একটি (↑) চিহ্ন দ্বারা একটি ইলেকট্রন ও (↑↓) চিহ্ন দ্বারা বিপরীত ঘূর্ণন যুক্ত ইলেকট্রন জোড় প্রকাশ করে।

	1s	2s	2p		
$_5B\ 1s^2 2s^2 2p^1$	↑↓	↑↓	↑		
$_6C\ 1s^2 2s^2 2p^2$	↑↓	↑↓	↑	↑	
$_7N\ 1s^2 2s^2 2p^3$	↑↓	↑↓	↑	↑	↑
$_8O\ 1s^2 2s^2\ 2p^4$	↑↓	↑↓	↑↓	↑	↑
$_9F\ 1s^2 2s^2\ 2p^5$	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑
$_{10}Ne\ 1s^2 2s^2\ 2p^6$	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓

একই উপকক্ষের অর্বিট্যালগুলির, ইলেকট্রন দ্বারা সম্পূর্ণ ভর্তি অবস্থায় থাকার বা অর্ধপূর্ণ অবস্থায় থাকার জন্য একটি বিশেষ প্রবণতা থাকে। কারণ অর্বিট্যালগুলি অর্ধপূর্ণ বা সম্পূর্ণভাবে ইলেকট্রন দ্বারা ভর্তি হতে কম শক্তির প্রয়োজন হয় এবং ইলেকট্রন-বিন্যাসটি সুস্থিত হয়।

● **সংকেতের সাহায্যে পরমাণুর ইলেকট্রন-বিন্যাস প্রকাশ করার পদ্ধতি : (i)** পরমাণুর ইলেকট্রন-বিন্যাস প্রকাশ করার সময় মুখ্য স্তরটি জানাবার জন্য প্রথমে মুখ্য শক্তিস্তরের সংখ্যাটি (n = 1, 2, 3, ... ইত্যাদি) লিখতে হয়।

(ii) মুখ্য শক্তিস্তরে সংখ্যাটি লিখে তার ডান দিকে উপ-শক্তিস্তরের চিহ্ন s, p, d ইত্যাদি লেখা হয়। যেমন প্রথম মুখ্য শক্তিস্তরের ($n = 1$) s উপ-শক্তিস্তরকে $1s$ লিখে প্রকাশ করা হয়। দ্বিতীয় মুখ্য শক্তিস্তরের ($n = 2$) s এবং p উপ-শক্তিস্তরকে $2s\ 2p$ লিখে প্রকাশ করা হয়। তৃতীয় মুখ্য শক্তিস্তরের ($n = 3$) s, p এবং d উপ-শক্তিস্তরকে $3s\ 3p\ 3d$ লিখে প্রকাশ করা হয়।

(iii) পরমাণুর কোন্ উপ-শক্তিস্তরে কটি ইলেকট্রন আছে, বোঝাবার জন্য সেই উপ-শক্তিস্তরটি (s, p, d ইত্যাদি) লিখে উপ-শক্তিস্তরের চিহ্নের ওপরে ডানদিকে ওই উপশক্তিস্তরে কতগুলি ইলেকট্রন আছে, তা লিখতে হয়। যেমন, $1s^2 2s^2 2p^6$ এই ইলেকট্রন-বিন্যাস থেকে জানা যায় যে, পরমাণুটির প্রথম মুখ্যস্তরের s উপকক্ষে 2টি, দ্বিতীয় মুখ্যস্তরের s উপকক্ষে 2টি এবং p উপকক্ষে 6টি ইলেকট্রন বর্তমান। পরমাণুটির মধ্যে মোট (2+2+6) = 10টি ইলেকট্রন আছে।

উপরের নীতিগুলির উপর ভিত্তি করে এবং ইলেকট্রনের বিভিন্ন শক্তিস্তরগুলির ক্রম অনুযায়ী পর্যায় সারণির দ্বিতীয়, তৃতীয় এবং চতুর্থ পর্যায়ের কতকগুলি মৌলের পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাস এখানে দেখানো হল। H এবং He পরমাণুতে যথাক্রমে 1টি করে ইলেকট্রন ভর্তি হয়ে $1s$ অর্বিট্যালটি পূর্ণ হয়। H (z = 1) $1s^1$, He (z = 2) $1s^2$

লিথিয়ামে (Li) z = 3, Li পরমাণুর $1s$ অর্বিট্যাল 2টি ইলেকট্রন দ্বারা ভর্তি হয়ে যাওয়ায় তৃতীয় ইলেকট্রনটি পরের $2s$ অর্বিট্যালে যাবে। বেরিলিয়ামে Be z = 4 চতুর্থ ইলেকট্রনটিও $2s$ অর্বিট্যালে যাবে। বোরনে B (z = 5), $2s$ অর্বিট্যালে ভর্তি হয়ে যাওয়ায় পঞ্চম ইলেকট্রনটি $2p_x$ অর্বিট্যালে যাবে। কার্বনে C (z = 6) ষষ্ঠ ইলেকট্রনটি হুন্ডের সূত্রানুযায়ী $2p_x$ অর্বিট্যালে না গিয়ে $2p_y$ অর্বিট্যালে যায়। N (z = 7) এর সপ্তম ইলেকট্রনটি $2p_x$ বা $2p_y$ তে না গিয়ে $2p_z$ অর্বিট্যালে যায়। এর পর আসে অক্সিজেন O (z = 8) এর অষ্টম ইলেকট্রনটি, তিনটি অর্বিট্যালে 1টি করে ইলেকট্রন দ্বারা ভর্তি হয়ে যাওয়ায় $2p_x$ অর্বিট্যালে যাবে কিন্তু ওতে ইতিমধ্যে যে ইলেকট্রনটি আছে, তার **বিপরীত ঘূর্ণনবিশিষ্ট হবে।** এইভাবে F (z = 9) এবং Ne (z = 10) এর ক্ষেত্রে যথাক্রমে 1টি করে বিপরীত ঘূর্ণনবিশিষ্ট ইলেকট্রন যথাক্রমে $2p_y$ তে $2p_z$ অর্বিট্যালে প্রবেশ করবে।

			$1s$	$2s$	$2p_x$	$2p_y$	$2p_z$
লিথিয়াম	($_3$Li)	$1s^2\ 2s^1$	↑↓	↑			
বেরিলিয়াম	($_4$Be)	$1s^2\ 2s^2$	↑↓	↑↓			
বোরন	($_5$B)	$1s^2\ 2s^2\ 2p_x^{\ 1}$	↑↓	↑↓	↑		
কার্বন	($_6$C)	$1s^2\ 2s^2\ 2p_x^{\ 1}\ 2p_y^{\ 1}$	↑↓	↑↓	↑	↑	
নাইট্রোজেন	($_7$N)	$1s^2\ 2s^2\ 2p_x^{\ 1}\ 2p_y^{\ 1}\ 2p_z^{\ 1}$	↑↓	↑↓	↑	↑	↑
অক্সিজেন	($_8$O)	$1s^2\ 2s^2\ 2p_x^{\ 2}\ 2p_y^{\ 1}\ 2p_z^{\ 1}$	↑↓	↑↓	↑↓	↑	↑
ফ্লুওরিন	($_9$F)	$1s^2\ 2s^2\ 2p_x^{\ 2}\ 2p_y^{\ 2}\ 2p_z^{\ 1}$	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑
নিয়ন	($_{10}$Ne)	$1s^2\ 2s^2\ 2p_x^{\ 2}\ 2p_y^{\ 2}\ 2p_z^{\ 2}$	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓

তৃতীয় পর্যায়ের মৌলগুলির ইলেকট্রন বিন্যাস নীচে দেখানো হল। এক্ষেত্রে [Ne] বলতে Ne-এর ইলেকট্রন বিন্যাসের $[1s^2 2s^2 2p^6]$ মতো বোঝায়। যেমন

সোডিয়াম	$_{11}Na...[Ne]\ 3s^1$	সিলিকন	$_{14}Si...\ [Ne]\ 3s^2\ 2p_x^1\ 2p_y^1$
ম্যাগনেশিয়াম	$_{12}Mg...[Ne]\ 3s^2$	ফসফরাস	$_{16}P...\ [Ne]\ 3s^2\ 2p_x^1\ 2p_y^1 2p_z^1$
অ্যালুমিনিয়াম	$_{13}Al...\ [Ne]\ 3s^2\ 2p_x^1$	আর্গন	$_{18}Ar...\ [Ne]\ 3s^2\ 2p_x^2\ 2p_y^2\ 2p_z^2$

চতুর্থ পর্যায়ের মৌল ঃ পটাশিয়াম ও ক্যালশিয়াম পরমাণুতে ইলেকট্রন $3d$ অর্বিট্যালে না গিয়ে $4s$ অর্বিট্যাল ভর্তি করে, কারণ $3d$ এর চেয়ে $4s$ অর্বিট্যালের শক্তি সামান্য কম। এখানে [Ar] বলতে Ar-এর e বিন্যাসের $(1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6)$ মতো হবে বোঝায়।

মৌল		3d					4s
পটাশিয়াম $_{19}K$	[Ar]						↑
ক্যালশিয়াম $_{20}Ca$	[Ar]						↑↓

এরপর স্ক্যানডিয়াম $(z = 21)$ থেকে আরম্ভ করে $3d$ অর্বিট্যাল ভর্তি হতে আরম্ভ করে Zn-এ গিয়ে শেষ হয়।

মৌল		3d					4s
স্ক্যানডিয়াম $_{21}Sc$	[Ar]	↑					↑↓
টাইটেনিয়াম $_{22}Ti$	[Ar]	↑	↑				↑↓
ভ্যানাডিয়াম $_{23}V$	[Ar]	↑	↑	↑			↑↓
ক্রোমিয়াম $_{24}Cr$	[Ar]	↑	↑	↑	↑	↑	↑
ম্যাঙ্গানিজ $_{25}Mn$	[Ar]	↑	↑	↑	↑	↑	↑↓
আয়রন $_{26}Fe$	[Ar]	↑↓	↑	↑	↑	↑	↑↓
কোবাল্ট $_{27}Co$	[Ar]	↑↓	↑↓	↑	↑	↑	↑↓
জিঙ্ক $_{30}Zn$	[Ar]	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓

● **কয়েকটি বিশেষ ক্ষেত্রে ইলেকট্রন-বিন্যাস ঃ কয়েকটি পরমাণুর ইলেকট্রন-বিন্যাসে কিছু বিশেষত্ব দেখা যায়। এরকম হওয়ার কারণ হল, কোনো পরমাণুর d উপকক্ষে 4টি বা 9টি ইলেকট্রন থাকতে চায় না। পরমাণুর d উপকক্ষে 4টি বা 9টি ইলেকট্রন দ্বারা ভর্তি হলে পরের s উপকক্ষ থেকে 1টি ইলেকট্রন d উপকক্ষে নেমে এসে ওর ইলেকট্রন সংখ্যা যথাক্রমে 5 (অর্ধপূর্ণ) বা 10 (সম্পূর্ণ) করে দেয়, ফলে s উপকক্ষে 2টির বদলে 1টি ইলেকট্রন থেকে যায় (হুন্ডের সূত্র)।** যেমন,

ক্রোমিয়ামের e-বিন্যাস ঃ Cr-এর পারমাণবিক সংখ্যা = 24। আগের ধারা অনুযায়ী এর ইলেকট্রন-বিন্যাস করলে Cr-এর ইলেকট্রন-বিন্যাস হবে $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^4 4s^2$; কিন্তু যেহেতু Cr তার $3d$ অর্বিট্যাল অর্ধপূর্ণ (5টি ইলেকট্রন) রাখতে চায় তাই $4s$ অর্বিট্যাল থেকে 1টি ইলেকট্রন $3d$ অর্বিট্যালে চলে আসে।

Cr-এর সঠিক ইলেকট্রন-বিন্যাস হল $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^1$। Cu-এর ইলেকট্রন-বিন্যাস ঃ $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^1$।

2.21. স্থিতাবস্থায় একপরমাণুক আয়নের ইলেকট্রন বিন্যাস [Ground state electronic configurations of mono-atomic ions]

কোনো পরমাণুর অর্বিট্যালে ইলেকট্রন গৃহীত হলে পরমাণুটি অ্যানায়নে পরিণত হয়। আবার কোনো পরমাণুর অর্বিট্যাল থেকে ইলেকট্রন বর্জিত হলে পরমাণুটি ক্যাটায়নে পরিণত হয়।

(1) অ্যানায়নের ইলেকট্রনীয় বিন্যাস ঃ যে মৌলের পরমাণু থেকে অ্যানায়নটি উৎপন্ন হয়েছে, প্রথমে সেই মৌলটির ইলেকট্রন বিন্যাস লেখা হয়। তারপর অ্যানায়নটির চার্জের সংখ্যা যত হয়, তত সংখ্যক ইলেকট্রন পরমাণুটির সবচেয়ে বাইরের খালি অর্বিট্যালে যোগ করা হয়। কারণ পরমাণু দ্বারা গৃহীত বা বর্জিত ইলেকট্রনের সংখ্যা = আয়নে উপস্থিত চার্জের সংখ্যা।

যেমন (i) H^- আয়নের ইলেকট্রন বিন্যাস হবে $(_1H + e^-) = 1s^1 + 1e^- = 1s^2$

(ii) F^- আয়নের বিন্যাস = $(_9F + 1e^-) = 1s^2 2s^2 2p^5 + 1e^- = 1s^2 2s^2 2p^6$

(iii) N^{3-}, O^{2-} এবং Cl^- আয়নগুলির ইলেকট্রন বিন্যাস দেখানো হল—

N-পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাস— [↑↓] [↑↓] [↑|↑|↑]
অযুগ্ম e সংখ্যা = 3 — $1s^2\ 2s^2\ 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1$

O^{2-}-আয়নের e বিন্যাস— [↑↓] [↑↓] [↑↓|↑↓|↑↓]
অযুগ্ম e সংখ্যা = 0 — $1s^2\ 2s^2\ 2p_x^2 2p_y^2 2p_z^2$

N^{3-}-আয়নের ইলেকট্রন বিন্যাস— [↑↓] [↑↓] [↑↓|↑↓|↑↓]
অযুগ্ম ইলেকট্রন সংখ্যা = 0 — $1s^2\ 2s^2\ 2p^6$

Cl^--এবং e বিন্যাস— [↑↓] [↑↓] [↑↓|↑↓|↑↓] [↑↓] [↑↓|↑↓|↑↓]
অযুগ্ম e সংখ্যা = 0 — $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6$

(iv) সালফার পরমাণুর এবং সালফাইড আয়নের ইলেকট্রন বিন্যাস এবং প্রতিটিতে অযুগ্ম ইলেকট্রনের সংখ্যা।

S পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাস— [↑↓] [↑↓] [↑↓|↑↓|↑↓] [↑↓] [↑↓|↑|↑]
$1s^2$ $2s^2$ $2p^6$ $3s^2$ $3p^4$
অযুগ্ম ইলেকট্রন সংখ্যা = 2

S^{2-}-আয়নের ইলেকট্রন বিন্যাস— [↑↓] [↑↓] [↑↓|↑↓|↑↓] [↑↓] [↑↓|↑↓|↑↓]
$1s^2$ $2s^2$ $2p^6$ $3s^2$ $3p^6$
অযুগ্ম ইলেকট্রন সংখ্যা = 0

(v) P^{3-}-এর e বিন্যাস = $({}_{15}P + 3e^-) = 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3 + 3e^- = 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$

(2) ক্যাটায়নের ইলেকট্রন বিন্যাস ঃ যে মৌলের পরমাণু থেকে ক্যাটায়নটি উৎপন্ন হয়েছে প্রথমে সেই মৌলটির e-বিন্যাস লিখে, ক্যাটায়নটির পজিটিভ চার্জের সংখ্যা যত হয়, তত সংখ্যক ইলেকট্রন সবচেয়ে বাইরের অর্বিট্যাল থেকে সরিয়ে ফেলা হয়। যেমন,

(i) Ca^{2+}-এর e বিন্যাস = $({}_{20}Ca - 2e^-) = 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 - 2e^- = 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$

(ii) **Fe পরমাণু, Fe^{2+} আয়ন এবং Fe^{3+} আয়নের ইলেকট্রন বিন্যাস।**

${}_{26}Fe$ পরমাণুর e-বিন্যাস— [↑↓] [↑↓] [↑↓|↑↓|↑↓] [↑↓] [↑↓|↑↓|↑↓] [↑↓|↑|↑|↑|↑] [↑↓]
$1s^2$ $2s^2$ $2p^6$ $3s^2$ $3p^6$ $3d^6$ $4s^2$

Fe^{2+} আয়নের e-বিন্যাস— [↑↓] [↑↓] [↑↓|↑↓|↑↓] [↑↓] [↑↓|↑↓|↑↓] [↑↓|↑|↑|↑|↑] [ ] অযুগ্ম e-সংখ্যা = 4
$1s^2$ $2s^2$ $2p^6$ $3s^2$ $3p^6$ $3d^6$

Fe^{3+} আয়নের e-বিন্যাস— [↑↓] [↑↓] [↑↓|↑↓|↑↓] [↑↓] [↑↓|↑↓|↑↓] [↑|↑|↑|↑|↑] [ ] অযুগ্ম e-সংখ্যা = 5
$1s^2$ $2s^2$ $2p^6$ $3s^2$ $3p^6$ $3d^5$

(iii) **ক্রোমিয়াম পরমাণু এবং Cr^{3+} আয়নের ইলেকট্রন-বিন্যাস।**

${}_{24}Cr$ পরমাণুর e-বিন্যাস— [↑↓] [↑↓] [↑↓|↑↓|↑↓] [↑↓] [↑↓|↑↓|↑↓] [↑|↑|↑|↑|↑] [↑]
$1s^2$ $2s^2$ $2p^6$ $3s^2$ $3p^6$ $3d^5$ $4s^1$
অযুগ্ম e সংখ্যা = 6

Cr^{3+} আয়নের e-বিন্যাস— [↑↓] [↑↓] [↑↓|↑↓|↑↓] [↑↓] [↑↓|↑↓|↑↓] [↑|↑|↑| |] [ ]
$1s^2$ $2s^2$ $2p^6$ $3s^2$ $3p^6$ $3d^3$
অযুগ্ম e সংখ্যা = 3

(iv) **${}_{25}Mn$-এর e-বিন্যাস—** [↑↓] [↑↓] [↑↓|↑↓|↑↓] [↑↓] [↑↓|↑↓|↑↓] [↑|↑|↑|↑|↑] [↑↓]
$1s^2$ $2s^2$ $2p^6$ $3s^2$ $3p^6$ $3d^5$ $4s^2$
অযুগ্ম e সংখ্যা = 5

Mn^{2+}-এর e-বিন্যাস— [↑↓] [↑↓] [↑↓|↑↓|↑↓] [↑↓] [↑↓|↑↓|↑↓] [↑|↑|↑|↑|↑] [ ]
$1s^2$ $2s^2$ $2p^6$ $3s^2$ $3p^6$ $3d^5$
অযুগ্ম e সংখ্যা = 5

(v) **${}_{29}Cu$-এর e বিন্যাস [Ar]** [↑↓|↑↓|↑↓|↑↓|↑↓] [↑]
$3d^{10}$ $4s^1$

Cu^{++} আয়নের e বিন্যাস [Ar] [↑↓|↑↓|↑↓|↑↓|↑] [ ]
$3d^9$ $4s$

2.22. ইলেকট্রনের দ্বৈত প্রকৃতি [Dual nature of electron]

পরমাণুর কণাধর্মী এবং তরঙ্গাধর্মী তত্ত্ব ঃ বর্তমানে, নির্দিষ্ট কক্ষপথে আবর্তনশীল ইলেকট্রনকে শুধু কণারূপে ধরা হয় না। তীব্রবেগে আবর্তনশীল ইলেকট্রনকে কখনো কণারূপে, আবার কখনো সমগ্র পরমাণুর মধ্যে কোনো তরঙ্গারূপে ধরা হয়। কারণ ইলেকট্রনের তরঙ্গ ধর্মেরও প্রমাণ পাওয়া গেছে। ডি ব্রগলি, শ্রোডিঙ্গার প্রমুখ বিজ্ঞানীদের গবেষণা দ্বারা প্রমাণিত হয়েছে যে, আবর্তনশীল ইলেকট্রনের ব্যবহার তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গের মতো। সুতরাং বলা যায়, ইলেকট্রনের মধ্যে কণা এবং তরঙ্গ—এই দ্বৈত সত্তা বর্তমান। ইলেকট্রনের এই দ্বৈত প্রকৃতিকে গণিতের সাহায্যে সহজে প্রকাশ করা যায়। পদার্থের এই দ্বৈত প্রকৃতি সম্বন্ধে ধারণা থেকে তরঙ্গ বলবিদ্যার (Wave mechanics) জন্ম হয়। এই তত্ত্ব অনুযায়ী ইলেকট্রন, প্রোটন এমনকি পরমাণু যখন গতিশীল অবস্থায় থাকে, তখন ওদের মধ্যে তরঙ্গ-ধর্মের উদ্ভব ঘটে।

গণিতের সাহায্যে ডি-ব্রগলির ধারণাকে $\lambda = \frac{h}{mV}$ এই সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়। সমীকরণটি ডি. ব্রগলি সমীকরণ রূপে পরিচিত।

এখানে m = কণার ভর, V = কণার বেগ, h = প্লাঙ্কের ধ্রুবক = $6{\cdot}626 \times 10^{-34}$ J-sec এবং λ = তরঙ্গদৈর্ঘ্য।

একটি ফোটনের শক্তি = E এবং কম্পাঙ্ক = ν হলে, ফোটনের শক্তি $E = h\nu$ হয় ... ... (2·6)

আবার আইনস্টাইনের সমীকরণ অনুযায়ী $E = mc^2$ ... ... (2·7)

যেখানে m = ফোটনের ভর এবং c = ফোটনের বেগ। যেহেতু ফোটনের বেগ c = কম্পাঙ্ক $\nu \times$ তরঙ্গ দৈর্ঘ্য λ

(2·6) এবং (2·7) সমীকরণ থেকে পাওয়া যায়, $mc^2 = h\nu$ বা, $mc^2 = \frac{hc}{\lambda}$ বা, $\lambda = \frac{h}{mc}$ ... ... (2·8)

ডি-ব্রগলির মতে, (2·8) নং সমীকরণটিকে **ভরযুক্ত কণার ক্ষেত্রে প্রয়োগ করা যায়,** যেখানে কণাটির ভর = m এবং বেগ = V হয়,

অর্থাৎ কণার তরঙ্গদৈর্ঘ্য $\lambda = \frac{h}{mV}$ এই সমীকরণটিকে **ডিব্রগলির সমীকরণ** বলা হয়। ... ... (2·9)

যেহেতু mV = ভরবেগ p, সুতরাং (2.9) নং সমীকরণটিকে $\lambda = \frac{h}{p}$ রূপে প্রকাশ করা যায়।

এখন যেহেতু h = প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক $\therefore\ \lambda \propto \frac{1}{p}$ অর্থাৎ তরঙ্গ দৈর্ঘ্য $\lambda \propto \frac{1}{\text{ভরবেগ}}$ এটি **ডি ব্রগলির সম্পর্ক** নামে পরিচিত।

এর দ্বারা প্রকাশ পায় যে, **গতিশীল কোনো বস্তুকণার ভরবেগ, কণাটির দ্বারা সৃষ্ট তরঙ্গের তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের ব্যস্তানুপাতিক।**

● **ডি ব্রগলির সমীকরণ থেকে বোর-ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগের ব্যাখ্যা ঃ**

বোরের স্বীকার্য অনুযায়ী, ইলেকট্রনের আবর্তনের জন্য কয়েকটি স্থায়ী এবং নির্দিষ্ট ব্যাসার্ধের কক্ষপথ আছে। এই নির্দিষ্ট কক্ষপথ ছাড়া অন্য কোথাও ইলেকট্রন আবর্তন করতে পারেনা এবং প্রত্যেকটি কক্ষপথের শক্তি নির্দিষ্ট থাকে। কক্ষপথগুলির ব্যাসার্ধ (r) এমন হবে যাতে ওই কক্ষপথে আবর্তনের সময় ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ = $h/2\pi$ হয় অথবা $h/2\pi$ রাশিটির পূর্ণসংখ্যার গুণিতক হয় অর্থাৎ কৌণিক ভরবেগ $mVr = nh/2\pi$ হবে, যেখানে n = 1, 2, 3 ... ইত্যাদি যেকোনো পূর্ণসংখ্যা, h = প্লাঙ্ক ধ্রুবক = $6{\cdot}626 \times 10^{-34}$ J-sec, r = কক্ষপথের ব্যাসার্ধ, m = ইলেকট্রনের ভর, V = ইলেকট্রনের বেগ।

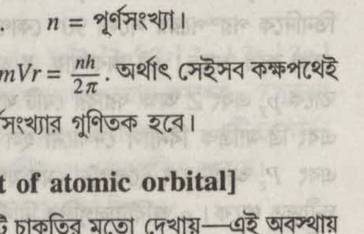
ডি-ব্রগলির মতে তীব্রবেগে আবর্তনরত ইলেকট্রনের শুধু কণাধর্ম নয়—তরঙ্গাধর্মও বর্তমান থাকবে।

সুতরাং, নির্দিষ্ট ব্যাসার্ধের কক্ষপথে পরিধি বরাবর তরঙ্গাগতিতে আবর্তন করতে হলে, ইলেকট্রনটিকে একটি নির্দিষ্ট দশায় থাকতে হবে। যেকোনো ব্যাসার্ধের বৃত্তাকার কক্ষপথে ইলেকট্রনটির তরঙ্গাগতি নির্দিষ্ট দশা সম্পন্ন হতে পারে না—কেবল কয়েকটি কক্ষপথেই এটি সম্ভব হতে পারে। সুতরাং বলা যায় যে, **বৃত্তাকার কক্ষপথে আবর্তনরত ইলেকট্রনের কক্ষপথের পরিধি, ইলেকট্রনের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পূর্ণসংখ্যার গুণিতক হতে হবে।** অর্থাৎ পরিধি $2\pi r = n\lambda$. n = পূর্ণসংখ্যা।

ডি-ব্রগলির সমীকরণে পাই, $\lambda = \frac{h}{mV}$ বা, $n\lambda = \frac{nh}{mV}$ $\therefore$ পরিধি $2\pi r = \frac{nh}{mV}$ বা, $mVr = \frac{nh}{2\pi}$. অর্থাৎ সেইসব কক্ষপথেই ইলেকট্রন আবর্তন করতে পারে, যাদের কৌণিক ভরবেগ, $\frac{h}{2\pi}$ বা, $\frac{h}{2\pi}$ রাশিটির পূর্ণসংখ্যার গুণিতক হবে।

2.23. পারমাণবিক কক্ষক বা অর্বিট্যাল সম্বন্ধে ধারণা [Concept of atomic orbital]

বৈদ্যুতিক পাখা যখন বেশ জোরে ঘোরে, তখন পাখার ব্লেডগুলিকে গোলাকার একটি চাকতির মতো দেখায়—এই অবস্থায় কোনো নির্দিষ্ট মুহূর্তে পাখার ব্লেডগুলির সঠিক অবস্থান বলা সম্ভব নয়। ইলেকট্রনগুলি নিউক্লিয়াসকে ঘিরে প্রচণ্ড বেগে আবর্তন করে। বিজ্ঞানী **হাইসেনবার্গ** বলেন, কোনো নির্দিষ্ট মুহূর্তে 1টি ইলেকট্রনের সঠিক অবস্থান জানা সম্ভব নয়। প্রচণ্ড বেগে আবর্তনশীল ইলেকট্রনগুলির মধ্যে **কণা-ধর্ম এবং তরঙ্গ-ধর্ম, উভয় ধর্মই বর্তমান থাকে** বলে আধুনিক বিজ্ঞানীরা ধারণা করেন। তাই আজকাল মনে করা হয় যে, ইলেকট্রনের নেগেটিভ তড়িৎ নিউক্লিয়াসকে ঘিরে ওর চারিদিকে কোনো একটা চিহ্নিত অঞ্চলের মধ্যে মেঘের মতো ছড়িয়ে থাকে। যেমন হাইড্রোজেন পরমাণুর কেন্দ্রে নিউক্লিয়াসকে ঘিরে ওর চারিদিকে একটি গোলকাকার অঞ্চল জুড়ে এক একক নেগেটিভ তড়িৎ (1টি ইলেকট্রনের জন্য) মেঘের মত ছড়িয়ে থাকে। এই নেগেটিভ তড়িতের ঘনত্ব নিউক্লিয়াস থেকে দূরত্ব বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে পরিবর্তিত হয়। **নেগেটিভ তড়িতের এই অঞ্চলটিকে বলা হয় কক্ষক বা অর্বিট্যাল** ((orbital) অর্থাৎ,

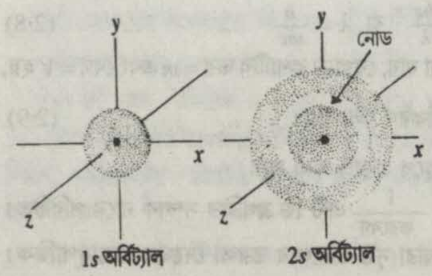


চিত্র 2.20 ঃ হাইড্রোজেন পরমাণুর নিউক্লিয়াসকে ঘিরে নেগেটিভ তড়িৎ অঞ্চল

একটি পরমাণুর কেন্দ্রকের চারপাশে যে বিশেষ চিহ্নিত ত্রি-মাত্রিক অঞ্চলে একটি আবর্তনশীল ইলেকট্রনকে সবচেয়ে বেশি করে পাওয়ার সম্ভাবনা থাকে, সেই অঞ্চলটিকে কক্ষক বা অর্বিট্যাল (orbital) **বলে।**

প্রত্যেক অর্বিট্যালের এক-একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ শক্তি বর্তমান থাকে। **প্রতি অর্বিট্যালের মধ্যে 2টির বেশি ইলেকট্রন থাকতে পারে না। প্রত্যেকটি উপকক্ষ বা উপশক্তিস্তর কতকগুলি কক্ষক বা অর্বিট্যাল দ্বারা গঠিত।**

প্রথম মুখ্যস্তরে (K) ($n = 1$) 1টি উপকক্ষ আছে। এই উপকক্ষে 1টি অর্বিট্যাল থাকে। একে **1s** অর্বিট্যাল বলে। **মোট অর্বিট্যাল সংখ্যা 1^2 = 1টি অর্বিট্যাল।**



চিত্র 2.21

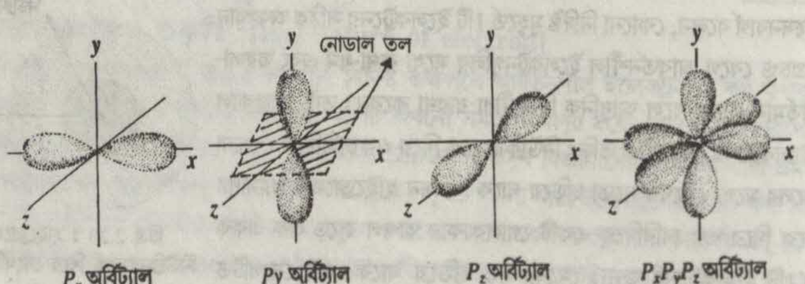
দ্বিতীয় মুখ্যস্তরে (L) ($n = 2$) 2টি উপকক্ষ **2s 2p** আছে। **2s** উপকক্ষে 1টি এবং **2p** উপকক্ষে 3টি অর্বিট্যাল অর্থাৎ **মোট 2^2 = 4টি অর্বিট্যাল থাকে।**

তৃতীয় মুখ্যস্তরে (M) ($n = 3$) 3টি উপকক্ষ আছে। যথা—**3s, 3p, 3d**। এর **3s** উপকক্ষে 1টি, **3p** উপকক্ষে 3টি এবং **3d** উপকক্ষে 5টি অর্বিট্যাল **অর্থাৎ মোট 3^2 = 9টি অর্বিট্যাল থাকে।**

1টি ইলেকট্রন-অর্বিট্যালের আকার এবং আয়তন নির্ভর করে যে মুখ্য শক্তিস্তরে এবং যে উপকক্ষে ইলেকট্রনটি আবর্তন করছে তার ওপর। মুখ্য শক্তিস্তরের সংখ্যা যত বৃদ্ধি পায়, ওর মধ্যস্থ অর্বিট্যালের আয়তনও তত বৃদ্ধি পেতে থাকে।

● **s-অর্বিট্যালের আকৃতি এবং ত্রি-মাত্রিক বিন্যাস ঃ** s উপকক্ষের ক্ষেত্রে $l = 0$ এবং $m = 0$ হওয়ায়, s অর্বিট্যাল গঠনকারী ইলেকট্রন-মেঘের কোনো বিশেষ দিকে ঘনীভূত হওয়ার প্রবণতা থাকে না। যে কোনো মুখ্যস্তরের s উপকক্ষের **s ইলেকট্রন অর্বিট্যাল, নিউক্লিয়াসকে ঘিরে গোলকাকার** (Spherical) হয়। 2s উপকক্ষের ইলেকট্রন-অর্বিট্যালের আয়তন 1s উপকক্ষের ইলেকট্রন-অর্বিট্যালের চেয়ে বড়ো, কিন্তু 3s উপকক্ষের অর্বিট্যালের চেয়ে ছোটো হবে। **1s অর্বিট্যাল ও 2s অর্বিট্যালের মাঝে একটি গোলক আকারের সেল থাকে যে অঞ্চলে ইলেকট্রনের অস্তিত্ব থাকে না। এই অঞ্চলটিকে নোড বলে। 1s অর্বিট্যালের নোড নেই।**

● **p-অর্বিট্যালের আকৃতি এবং ত্রি-মাত্রিক বিন্যাস ঃ** p উপকক্ষের ক্ষেত্রে $l = 1$ এবং $m = -1, 0, +1$ হওয়ার জন্য এর মধ্যে 3টি p অর্বিট্যাল থাকে। p উপকক্ষের p অর্বিট্যাল **ডাম্বেল আকারের** (Dumble shaped) হয়। এই 3টি p অর্বিট্যাল আবার তিনদিকে পরস্পরের সঙ্গে 90° কোণ করে অবস্থান করে। ধরা যাক্, X অক্ষ, Y অক্ষ এবং Z অক্ষ পরস্পরের সঙ্গে 90° কোণ করে আছে। এই অবস্থায়, X অক্ষ বরাবর যে p অর্বিট্যালটি থাকে তাকে p_x, Y অক্ষ বরাবর যে p অর্বিট্যালটি থাকে তাকে p_y এবং Z অক্ষ বরাবর যেটি থাকে, তাকে p_z অর্বিট্যাল বলে। 2.22 চিত্রে p_x, p_y এবং p_z অর্বিট্যাল তিনটির আকার এবং ত্রি-মাত্রিক বিন্যাস দেখানো হল। X, Y এবং Z অক্ষের সংযোগস্থলে পরমাণুটির নিউক্লিয়াস অবস্থান করে। p_x, p_y এবং P_z অর্বিট্যালে ইলেকট্রন মেঘ যথাক্রমে X, Y এবং Z অক্ষের সংযোগস্থলের দুপাশে প্রতিসমভাবে ডাম্বেলের আকারে ঘনীভূত থাকে। p অর্বিট্যালগুলির নির্দিষ্ট অভিমুখ আছে। নির্দিষ্ট শক্তিস্তরের অন্তর্ভুক্ত p অর্বিট্যালগুলির শক্তি সমান হয়। প্রতি অর্বিট্যালের দুটি অংশ একটি সমতল দ্বারা বিভক্ত থাকে, এই তলটিকে **নোডাল তল** বলে। নোডাল তলে ইলেকট্রন থাকার সম্ভাবনা নেই বললেই চলে।



চিত্র 2.22

একটি নির্দিষ্ট p অর্বিট্যালের উভয় অংশেই ইলেকট্রনকে পাওয়ার সম্ভাবনা সমান। বিভিন্ন শক্তিস্তরের n = 2, 3, 4, 5— p অর্বিট্যালগুলির আকৃতি একইভাবে আকারে বেড়ে যায়। d এবং f উপকক্ষের জ্যামিতিক আকার খুবই জটিল। প্রত্যেক অর্বিট্যালে 2টি করে ইলেকট্রন থাকার কথা—যে পরমাণুর মধ্যে সব অর্বিট্যাল ইলেকট্রন দ্বারা পূর্ণ থাকে সেগুলি সম্পূর্ণ। অনেক পরমাণুতে

সবগুলি অর্বিট্যাল 2টি করে ইলেকট্রন দ্বারা পূর্ণ থাকে না—যেমন অক্সিজেন পরমাণুর মধ্যে কিছু সংখ্যক p অর্বিট্যালে বিজোড় সংখ্যক ইলেকট্রন থাকে $1s^2 2s^2 2p_x^2 2p_y^1 2p_z^1$—এখানে দেখা যায় p_y এবং p_z অর্বিট্যালের প্রতিটিতে একটি করে অযুগ্ম ইলেকট্রন আছে।

● **কক্ষ এবং কক্ষকের মধ্যে পার্থক্য ঃ**

কক্ষ (Orbit)	কক্ষক (Orbital)
(1) নিউক্লিয়াসের চারদিকে আবর্তনকারী ইলেকট্রনের পথকে কক্ষ বলা হয়। এই পথ বৃত্তাকার বা উপবৃত্তাকার হতে পারে।	(1) পরমাণুর নিউক্লিয়াসকে ঘিরে যে ত্রিমাত্রিক অঞ্চলে ইলেকট্রনের উপস্থিতি সর্বাধিক হয়, তাকেই ওই ইলেকট্রনের কক্ষক বলে।
(2) কক্ষ, ইলেকট্রনের একমাত্রিক বা দ্বিমাত্রিক অঞ্চলের অবস্থান নির্দেশ করে—সমতলের মধ্যে এর কার্য সীমাবন্ধ।	(2) নিউক্লিয়াসকে ঘিরে ইলেকট্রনের ত্রিমাত্রিক গতি প্রকাশ করে।
(3) বৃত্তাকার বা উপবৃত্তাকার পথে আবর্তন করার সময় ইলেকট্রনের অবস্থান এবং ভরবেগ একই সঙ্গে নির্ণয় করা সম্ভব।	(3) কক্ষক হল ইলেকট্রনের সামগ্রিক অবস্থান—কোনো বিশেষ মুহূর্তে ইলেকট্রনের অবস্থান এবং ভরবেগ নির্দেশ করা যায় না।
(4) ইলেকট্রনগুলিকে কণারূপে বিবেচনা করে কক্ষপথের অবতারণা করা হয়।	(4) আবর্তনশীল ইলেকট্রনগুলিকে ইলেকট্রন-মেঘ-রূপে কল্পনা করে পারমাণবিক কক্ষকের অবতারণা করা হয়।
(5) বোর ও সোমারফিল্ডের মতে ইলেকট্রনের কক্ষ বৃত্তাকার ও উপবৃত্তাকার হয়।	(5) কক্ষকের আকার বিভিন্ন হয়—s কক্ষকের আকৃতি গোলকাকৃতি, p কক্ষকগুলি ডাম্বেল আকৃতির এবং d কক্ষকগুলি দ্বি-ডাম্বেল আকৃতির হয়।
(6) বিভিন্ন উপকক্ষে সর্বাধিক ইলেকট্রন থাকার সংখ্যা বিভিন্ন, যথা ঃ $s = 2$, $p = 6$, $d = 10$ এবং $f = 14$টি ইলেকট্রন থাকতে পারে।	(6) প্রতি কক্ষকে সর্বোচ্চ 2টি ইলেকট্রন থাকতে পারে।

● পরমাণুর গঠন সম্পর্কিত কয়েকটি সমস্যার সমাধান ঃ

***(1)* নীচের ইলেকট্রন বিন্যাস দ্বারা কোন্ কোন্ পরমাণু বোঝায়? কোন্‌গুলি উদ্দীপিত অবস্থায় আছে এবং কোন্‌গুলি স্থিত অবস্থায় আছে নির্দেশ করো।**

(i) $1s^2 2s^2\ 2p_x^1 2p_y^1\ 2p_z^1$ (ii) $1s^2 2s^1 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1$ (iii) [Ar] $3d^5 4s^2$ (iv) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1 3p_x^1 3p_y^1 3p_z^1$

Ans. (i) $1s^2 2s^2\ 2p_x^1 2_y^1\ 2p_z^1$—ইলেকট্রন বিন্যাসটিতে দেখা যায় যে ইলেকট্রন সংখ্যা তথা পরমাণু-ক্রমাঙ্ক = 7 সুতরাং ইলেকট্রন বিন্যাসটি হল স্থিত অবস্থার নাইট্রোজেন পরমাণুর। (ii) $1s^2 2s^1 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1$—পরমাণু-ক্রমাঙ্ক = 6—এটি হল কার্বন পরমাণুর উদ্দীপিত অবস্থার ইলেকট্রন বিন্যাস। কারণ $2s$ অর্বিট্যালের 1টি ইলেকট্রন $2p$ অর্বিট্যালে স্থানান্তরিত হয়েছে।

(iii) [Ar] $3d^5 4s^2$ —পরমাণু-ক্রমাংক = 25 এই বিন্যাসটি হল Mn-এর স্থিতাবস্থার ইলেকট্রন বিন্যাস।

(iv) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1 3p_x^1 3p_y^1 3p_z^1$—পরমাণু-ক্রমাঙ্ক = 14। এটি হল সিলিকন পরমাণুর উদ্দীপিত অবস্থার ইলেকট্রন বিন্যাস।

***(2)* একটি মৌলের পরমাণুর K কক্ষে 2টি, L কক্ষে 8টি এবং M কক্ষে 5টি ইলেকট্রন বর্তমান। পরমাণুটির (i) পরমাণু-ক্রমাঙ্ক, (ii) মোট s এবং মোট p ইলেকট্রনের সংখ্যা, (iii) যোজন কক্ষে মোট e সংখ্যা, (iv) মোট অযুগ্ম ইলেকট্রন সংখ্যা, (v) ইলেকট্রন সংখ্যা যেগুলির $n + l = 3$, (vi) একই ঘূর্ণন যুক্ত e-এর সর্বোচ্চ সংখ্যা, (vii) ইলেকট্রনের সংখ্যা যেগুলির ক্ষেত্রে $l = 0$ এবং (viii) মোট উপকক্ষের সংখ্যা নির্ণয় করো।**

Ans. (i) পরমাণুটির e বিন্যাস হল—$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p_x^1\ 3p_y^1\ 3p_z^1$ $\therefore$ পরমাণু-ক্রমাঙ্ক = 15

(ii) মোট s ইলেকট্রন সংখ্যা = 2 + 2 + 2 = 6, মোট p ইলেকট্রন = 6 + 3 = 9টি

(iii) যোজন কক্ষে মোট ইলেকট্রন সংখ্যা = 2 + 3 = 5

(iv) অযুগ্ম e সংখ্যা = 3টি($3p_x^1\ 3p_y^1\ 3p_z^1$)

(v) ইলেকট্রন সংখ্যা যেগুলির ক্ষেত্রে $n + l = 3$ হয়। লক্ষ করলে দেখা যায় যে $l = 0$ হলে $n = 3$ হয় এবং $l = 1$ হলে $n = 2$ হয়। সুতরাং $n + l = 3$ —এই শর্তযুক্ত ইলেকট্রন সংখ্যা = $2p^6\ 3s^2$ = 8টি

(vi) একই ঘূর্ণন যুক্ত ইলেকট্রনের মোট সংখ্যা = 9, (vii) ইলেকট্রন সংখ্যা যেগুলি $l = 0$ হল 6, (viii) মোট উপকক্ষ = 5

(3) (a) কোন্ মুখ্য শক্তিস্তরে g উপকক্ষের আরম্ভ হয়? g উপকক্ষ সম্ভব হলে ওতে মোট কটি কক্ষক থাকতো এবং মোট ইলেকট্রনের সংখ্যা কত হতো? (b) প্রদত্ত কোন্ উপকক্ষগুলি সম্ভব, কোন্‌গুলি নয় যুক্তি সহ বলো— 3s; 1p, 3p, 2d, 4f

Ans. (a) $n = 5$ মুখ্য শক্তিস্তরে g উপকক্ষ প্রথম আরম্ভ হবে। g উপকক্ষের গৌণ কোয়ান্টাম সংখ্যা l-এর মান মুখ্য কোয়ান্টাম সংখ্যার থেকে 1 কম হয়, তাই g উপকক্ষের l -এর মান = 4 হবে। $l = 4$-এর জন্য চৌম্বক কোয়ান্টাম সংখ্যা $m = (2 \times 4 + 1) =$ 9টি কক্ষক থাকবে। প্রতি কক্ষকে 2টি করে ইলেকট্রন থাকে, তাই g উপকক্ষে উপস্থিত সর্বোচ্চ ইলেকট্রন সংখ্যা $= 9 \times 2 = 18$.

(b) 3s উপকক্ষ সম্ভব। 1p উপকক্ষ সম্ভব নয়, কারণ $n = 1$ হলে l-এর কেবল একটি মান $l = 0$ হয় অর্থাৎ 1s উপকক্ষ। 3p উপকক্ষ সম্ভব। 2d উপকক্ষ সম্ভব নয়, কারণ $n = 2$ হলে l-এর মাত্র দুটি মান থাকে, যথা $l = 0$ এবং $l = 1$, d উপকক্ষ থাকতে হলে n-এর মান 3 হতে হবে। 4f উপকক্ষ সম্ভব।

(4) নীচের কোয়ান্টাম সংখ্যার সেটগুলির মধ্যে কোন্‌গুলি সম্ভব নয় যুক্তি সহ বলো ঃ

(i) $n = 2, l = 1, m = 0, s = +1/2$ (ii) $n = 2, l = 2, m = -1, s = -1/2$

(iii) $n = 3, l = 2, m = 0, s = -1/2$ (iv) $n = 3, l = 2, m = +1, s = 0$

(v) $n = 2, l = 1, m = +2, s = +1/2$ (vi) $n = 3, l = 0, m = 0, s = +1/2$

Ans. উপরে প্রদত্ত কোয়ান্টাম সেটগুলির মধ্যে (ii), (iv) এবং (v) নং সেটগুলি সম্ভব নয়।

(ii) নং সেট এর ক্ষেত্রে দেওয়া আছে $n = 2, l = 2, m = -1, s = -1/2$ এর মধ্যে $l = 2$ কখনোই সম্ভব নয়, কারণ $n = 2$ হলে l-এর মান কখনো 2 হতে পারে না। (iv) নং সেটে এর ক্ষেত্রে $n = 3, l = 2, m = +1, s = 0$ দেওয়া আছে এর মধ্যে ঘূর্ণন কোয়ান্টাম সংখ্যা s, +1/2 এবং −1/2 হয়, কখনোই 0 হয় না। (v) নং সেট এর ক্ষেত্রে $n = 2, l = 1, m = +2, s = +1/2$ আছে এর মধ্যে $m = +2$ কখনোই সম্ভব নয় কারণ $n = 2$ হলে যেহেতু $l = 1$ সুতরাং এক্ষেত্রে $m = +2$ হবে না, $l = 1$ হলে $m = -1, 0, +1$ হবে।

(5) $2p_x$, $2p_z$ এবং 4s ইলেকট্রনের জন্য n, l এবং m -এর মান কত হবে?

Ans. $2p_x$ ইলেকট্রনের জন্য, $n = 2, l = 1$ এবং $m = +1$ হবে।

$2P_z$ -এর জন্য $n = 2, l = 1$ এবং $m = 0$ হবে। 4s -এর জন্য $n = 4, l = 0, m = 0$ হবে।

(6) নীচের গুলির ক্ষেত্রে সংশ্লিষ্ট কক্ষকগুলির নাম লেখ।

(i) $n = 2, l = 1$, (ii) $n = 2, l = 0$, (iii) $n = 4, l = 3$, (iv) $n = 4, l = 2$ (v) $n = 4$ $l = 1$

Ans. (i) $n = 2, l = 1$ হলে সংশ্লিষ্ট উপকক্ষটি 2p হবে। (ii) $n = 2, l = 0$ হলে সংশ্লিষ্ট উপকক্ষটি 2s হবে। (iii) $n = 4, l = 3$ হলে সংশ্লিষ্ট উপকক্ষটি 4f হবে। (iv) $n = 4, l = 2$ হলে উপকক্ষটি 4d হবে। (v) $n = 4, l = 1$ হলে উপকক্ষটি 4p হবে।

(7) 3d উপকক্ষের 1টি ইলেকট্রনের l এবং m -এর মান লেখ।

Ans. $l = 2$, $m = -2, -1, 0, +1, +2$

(8) নীচের গুলিতে সর্বাধিক কত সংখ্যক ইলেকট্রন থাকতে পারে?

(a) $n = 4$, (b) $n + l = 5$, এর সবগুলি উপকক্ষে (b) একটি কক্ষক যার $n = 3, l = 2, m = 0$ (d) $n = 4, l = 2$ উপকক্ষে, (c) $2p_z$ অর্বিট্যালে।

Ans. (a) $n = 4$ এর সর্বাধিক ইলেকট্রন সংখ্যা $2 \times 4^2 = 2 \times 16 = 32$ (b) $n + l = 5$ এর ক্ষেত্রে $l = 0$ হলে $n = 5, l = 1$ হলে $n = 4, l = 2$ হলে $n = 3$, $l = 3$ হতে পারে না, কারণ l -এর মান সর্বদা n-এর মানের চেয়ে 1 কম হয়।

সুতরাং $n = 5, l = 0$ হলে 5s ইলেকট্রন ; $n = 4, l = 1$ হলে 4p ইলেকট্রন ; $n = 3, l = 2$ হলে 3d ইলেকট্রন।

মোট ইলেকট্রন সংখ্যা $3d^{10}\ 4p^6\ 5s^2$ অর্থাৎ $10 + 6 + 2 = 18$টি

(b) $n = 3, l = 2, m = 0$ হলে কক্ষকটি 3d হবে, যেহেতু $m = 0$ সুতরাং ওই কক্ষকে 2টি ইলেকট্রন থাকবে।

(c) $n = 4, l = 2$ উপকক্ষটি হল 4d -এর সর্বোচ্চ ইলেকট্রন সংখ্যা $5 \times 2 = 10$

(d) $2p_z$ কক্ষকে 2টি ইলেকট্রন থাকবে।

(9) তৃতীয় কক্ষে একবার সম্পূর্ণ আবর্তনে, একটি বোর ইলেকট্রন দ্বারা সৃষ্ট তরঙ্গের সংখ্যা নির্ণয় করো।

Ans. সাধারণত একটি কক্ষে সৃষ্ট তরঙ্গের সংখ্যা $= \dfrac{\text{কক্ষের পরিধি}}{\text{তরঙ্গ দৈর্ঘ্য}} = \dfrac{2\pi r}{\lambda}$

কিন্তু $\lambda = h/mV$. $\therefore$ তরঙ্গ সংখ্যা $= \dfrac{2\pi r}{h/mV} = \dfrac{2\pi r.mV}{h} = \dfrac{2\pi mVr}{h}$

তৃতীয় বোর কক্ষের কৌণিক ভরবেগ $mVr = \frac{3h}{2\pi}$ ∴ তৃতীয় বোর কক্ষে তরঙ্গ সংখ্যা = $\frac{2\pi}{h} \times \frac{3h}{2\pi} = 3$

সুতরাং তৃতীয় কক্ষে তরঙ্গ সংখ্যা = 3

***(10)* একটি কণার ভরবেগ নির্ণয় করো যার ডি-ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য 0·1 nm $h = 6{\cdot}625 \times 10^{-34}$ kg m^2 sec^{-1}**

Ans. আমরা জানি, $\lambda = h/mV$ বা, $mV = h/\lambda$

বা, ভরবেগ $mV = \frac{6{\cdot}625 \times 10^{-34}\ \text{kg m}^2\ \text{sec}^{-1}}{0{\cdot}1 \times 10^{-9}\ \text{m}} = \frac{6{\cdot}625 \times 10^{-34}\ \text{kg m}^2\ \text{sec}^{-1}}{10^{-10}\ \text{m}} = 6{\cdot}625 \times 10^{-24}$ kg m sec^{-1}

***(11)* একটি ইলেকট্রনের গতিশক্তি $4{\cdot}55 \times 10^{-25}$ J, ইলেকট্রনটির দ্বারা উৎপন্ন তরঙ্গের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য নির্ণয় করো। ($h = 6{\cdot}6 \times 10^{-34}$ kg m^2 sec^{-1} এবং ইলেকট্রনের ভর = $9{\cdot}1 \times 10^{-31}$ kg)**

Ans. ইলেকট্রনের গতিশক্তি = $1/2\ mV^2 = 4{\cdot}55 \times 10^{-25}$ J $= 4{\cdot}55 \times 10^{-25}$ kg m^2 sec^{-2}, m = ইলেকট্রনের ভর

বা, $V^2 = \frac{4{\cdot}55 \times 10^{-25}\ \text{kg m}^2\ \text{sec}^{-2} \times 2}{m} = \frac{4{\cdot}55 \times 10^{-25}\ \text{kg m}^2\ \text{sec}^{-2} \times 2}{9{\cdot}1 \times 10^{-31}\ \text{kg}}$

বা, $V^2 = 1{\cdot}0 \times 10^6$ m^2 sec^{-2} ∴ $V = 10^3$ m sec^{-1}

এখন তরঙ্গদৈর্ঘ্য $\lambda = \frac{h}{mV} = \frac{6{\cdot}6 \times 10^{-34}\ kg\ \ m^2\ \text{sec}^{-1}}{9{\cdot}1 \times 10^{-31}\ kg \times 10^3\ m\ \ \text{sec}^{-1}} = 7{\cdot}25 \times 10^{-7}\text{m} = 725$ nm.

***(12)* 250×10^{-9} মিটার তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য বিশিষ্ট একটি ফোটনের শক্তি জুল এককে নির্ণয় করো।**

Ans. একটি ফোটনের শক্তি $E = h\nu$, যেখানে ν = বিকীর্ণ শক্তির কম্পাঙ্ক, h = প্ল্যাঙ্ক ধ্রবক = $6{\cdot}626 \times 10^{-34}$ জুল সেকেন্ড, λ = শক্তির তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য 250×10^{-9} মিটার, এখন, $\nu = \frac{c}{\lambda}$, c = আলোর বেগ = 3×10^8 মি/সেকেন্ড

এখন, $E = \frac{hc}{\lambda}$ বা, $E = \frac{6{\cdot}626 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{250 \times 10^{-9}}$ J $= 7{\cdot}95 \times 10^{-19}$ জুল অর্থাৎ একটি ফোটনের শক্তি = $7{\cdot}95 \times 10^{-19}$ জুল।

***(13)* হাইড্রোজেন পরমাণুর বর্ণালিতে বামার সিরিজের সবচেয়ে কম তরঙ্গদৈর্ঘ্যের রেখা বর্ণালির তরঙ্গ সংখ্যা নির্ণয় করো।**

Ans. বামার সিরিজের ক্ষেত্রে $n_1 = 2$, সুতরাং $\bar{\nu} = R[\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n_2^2}]$ এখন $\bar{\nu} = 1/\lambda$ সুতরাং λ সর্বনিম্ন হবে যখন $\bar{\nu}$ সর্বোচ্চ হবে। এখন n_2-এর মান সর্বোচ্চ হলে অর্থাৎ $n_2 = \infty$ হলেই $\bar{\nu}$ সর্বোচ্চ হবে। ∴ $\bar{\nu} = 109677[\frac{1}{2^2} - \frac{1}{\infty^2}] = 27419{\cdot}25$ সেমি$^{-1}$

***(14)* 1টি ইলেকট্রনের ভর $9{\cdot}11 \times 10^{-28}$ গ্রাম এবং 1টি ইলেকট্রনের চার্জ = $4{\cdot}8 \times 10^{-10}$ e.s.u. প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক = $6{\cdot}62 \times 10^{-27}$ আর্গ সেকেন্ড হলে, হাইড্রোজেন পরমাণুর প্রথম কক্ষের (i) ব্যাসার্ধ, (ii) প্রথম কক্ষে ইলেকট্রনের আবর্তন বেগ, (iii) প্রথম কক্ষে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের শক্তি নির্ণয় হয়।**

Ans. *(i)* আমরা জানি, ব্যাসার্ধ $r = \frac{n^2h^2}{4\pi^2me^2}$ যেখানে r = কক্ষের ব্যাসার্ধ, n = কক্ষের সংখ্যা = 1, m = ভর = $9{\cdot}11 \times 10^{-28}$ গ্রাম, e = চার্জ = $4{\cdot}8 \times 10^{-10}$ e.s.u., h = প্লাঙ্ক ধ্রুবক = $6{\cdot}62 \times 10^{-27}$ আর্গ-সে

সুতরাং, প্রথম কক্ষের ব্যাসার্ধ $r_1 = \frac{1^2 \times (6{\cdot}62 \times 10^{-27})^2}{4 \times (3{\cdot}14)^2 \times 9{\cdot}11 \times 10^{-28} \times (4{\cdot}8 \times 10^{-10})^2} = 0{\cdot}529 \times 10^{-8}$ সেমি

(ii) প্রথম কক্ষে আবর্তন বেগ = V হলে, $V = \frac{2\pi e^2}{nh} = \frac{2 \times 3{\cdot}14 \times (4{\cdot}8 \times 10^{-10})^2}{1 \times 6{\cdot}62 \times 10^{-27}}$ বা, $V = 2{\cdot}19 \times 10^8$ সেমি/সে

(iii) প্রথম কক্ষের ইলেকট্রনের শক্তি = E হলে,

$E = \frac{-2\pi^2 me^4}{h^2} = \frac{-2 \times (3{\cdot}14)^2 \times (4{\cdot}8 \times 10^{-10})^4 \times 9{\cdot}11 \times 10^{-28}}{(6{\cdot}62 \times 10^{-27})^2}$ বা, $E = -2{\cdot}176 \times 10^{-11}$ আর্গ।

***(15)* হাইড্রোজেন পরমাণুর 1টি ইলেকট্রন $n = 3$ বোর কক্ষ থেকে $n = 1$ কক্ষে ফিরে এলে যে ফোটন বিকীর্ণ হয়, তার তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য নির্ণয় করো। হাইড্রোজেন পরমাণুর $n = 1$ কক্ষের ইলেকট্রন আয়ন-বিভব = $2{\cdot}17 \times 10^{-11}$ আর্গ / পরমাণু।**

Ans. হাইড্রোজেন পরমাণুর যে কোনো বোর কক্ষের শক্তি $E = \frac{-2\pi^2me^4}{h^2n^2}$ সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়।

m = ইলেকট্রনের ভর, e = 1টি ইলেকট্রনের চার্জ, h = প্লাঙ্ক ধ্রুবক = $6{\cdot}626 \times 10^{-27}$ আর্গ-সে, n = মুখ্য কক্ষ

যেহেতু $n = 1$ কক্ষের ইলেকট্রনের আয়ন-বিভব অর্থাৎ শক্তি $= 2{\cdot}17 \times 10^{-11}$ আর্গ/পরমাণু,

$$\therefore E_1 = \frac{-2\pi^2 me^4}{h^2 \times 1^2} = -2{\cdot}17 \times 10^{-11} \text{ আর্গ/পরমাণু}$$

এখন, $n = 3$ হলে $E_3 = \dfrac{-2\pi^2 me^4}{h^2 \times 3^2} = \dfrac{-2\pi^2 me^4}{h^2 \times 9} = \dfrac{-2{\cdot}17 \times 10^{-11}}{9}$

$$\therefore E_3 - E_1 = \frac{-2{\cdot}17 \times 10^{-11}}{9} + 2{\cdot}17 \times 10^{-11} = \frac{8 \times 2{\cdot}17 \times 10^{-11}}{9}$$

আমরা জানি, $E_3 - E_1 = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ $\left(\because \nu = \frac{c}{\lambda}\right)$

যেখানে ν = বিকীর্ণ ফোটনের কম্পাঙ্ক, λ = বিকীর্ণ ফোটনের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য, c = আলোর গতিবেগ $3{\cdot}0 \times 10^{10}$ সেমি/সেকেন্ড।

$$\therefore \frac{hc}{\lambda} = \frac{8 \times 2{\cdot}17 \times 10^{-11}}{9} \text{ বা, } \lambda = \frac{hc \times 9}{8 \times 2{\cdot}17 \times 10^{-11}} = \frac{6{\cdot}626 \times 10^{-27} \times 3 \times 10^{10} \times 9}{8 \times 2{\cdot}17 \times 10^{-11}} = 10{\cdot}3 \times 10^{-6} \text{ সেমি} = \mathbf{1030\text{Å}}$$

● অনুশীলনী ●

● তেজস্ক্রিয়তা সম্পর্কিত প্রশ্ন :

[A] অতি সংক্ষিপ্ত প্রশ্ন :

(1) তেজস্ক্রিয় বিভাজন বলতে কী বোঝ? **(2)** তেজস্ক্রিয়তার একক কী? **(3)** $_{90}TH^{232}$ থেকে একটি α কণা এবং পর পর দুটি β কণা নিঃসৃত হলে অপত্য মৌলটি কী হবে? **(4)** U^{235}-এর ক্রমিক ভর কত? **(5)** A এবং B দুটি তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধায়ুকাল যথাক্রমে 42 এবং 32 দিন হলে কোনটি বেশি স্থায়ী? **(6)** নিউক্লিয় চুল্লি মডারেটার কী? **(7)** নিউক্লিয় রিঅ্যাক্টরে ভারী জলের কাজ কী? **(8)** তেজস্ক্রিয় বিকিরণে কোন রশ্মিটি তড়িৎ বা চুম্বক ক্ষেত্রদ্বারা প্রভাবিত হয় না? **(9)** $_{88}Ra^{226}$-এর মধ্যে নিউট্রন সংখ্যা কত? **(10)** α কণা ও β কণার বেগ, ভর এবং চার্জ কত? **(11)** তেজস্ক্রিয়তা শেষ হলে কোন মৌল উৎপন্ন হয়?

[B] সংক্ষিপ্ত প্রশ্ন :

1. স্বাভাবিক তেজস্ক্রিয়তা বলতে কী বোঝ? দুটি উদাহরণ দাও। **2.** তেজস্ক্রিয় পদার্থ থেকে উদ্ভূত তিনটি তেজস্ক্রিয় রশ্মির নাম এবং ধর্ম বর্ণনা করো। **3.** দেহের মধ্যে থাকা উৎস থেকে নির্গত α-কণা, β-কণার চেয়ে বেশি ক্ষতিসাধন করে কেন? বাইরের কোনো উৎস থেকে শরীরে এই বিকীরণগুলি আপতিত হলেও কী এই বক্তব্যটি একই ভাবে প্রযোজ্য? **4.** তেজস্ক্রিয় পদার্থ থেকে তিন রকম রশ্মি নির্গমনের ফলে মৌলের কোনো পরিবর্তন হয় কী? **5.** (i) আল্‌ফা, বিটা ও গামা রশ্মিগুলি কী? ওদের এই চরিত্রগুলির তুলনা করো—(*a*) গতিবেগ, (*b*) ভেদন ক্ষমতা, (*c*) গতিশক্তি, (*d*) আয়নিত করার ক্ষমতা, (*e*) ওই রশ্মিগুলির উপর তড়িৎ ও চুম্বক ক্ষেত্রের প্রভাব। **6.** ভেদন ক্ষমতার উর্ধ্বক্রম অনুসারে সাজাও—α রশ্মি, β রশ্মি, X রশ্মি ও γ রশ্মি। X রশ্মি ও γ রশ্মির মধ্যে মূল পার্থক্য কী? **7.** একটি তেজস্ক্রিয় মৌলের পরমাণু থেকে একটি আল্‌ফা এবং একটি বিটা কণা নির্গত হলে পরমাণুটির ভরসংখ্যা এবং পারমাণবিক সংখ্যার কী পরিবর্তন হবে উদাহরণ সহ বুঝিয়ে দাও। **8.** তেজস্ক্রিয় মৌল থেকে α এবং β কণা কি এক সঙ্গে নির্গত হয়? (c) α এবং β কণার নিঃসরণের আগেই কি γ রশ্মির বিকিরণ হয়? γ রশ্মির সৃষ্টি হয় কী করে বুঝিয়ে দাও। **9.** (*a*) তেজস্ক্রিয় বিভাজন তত্ত্ব বলতে কী বোঝ? (*b*) তেজস্ক্রিয় ভাঙ্গন সূত্রটি বিবৃত করো। (*c*) বিভাজন ধ্রুবকের সংজ্ঞা দাও। **10.** (*a*) তেজস্ক্রিয় পরমাণুর অর্ধায়ুকাল বলতে কী বোঝ? (*b*) এটি কী তেজস্ক্রিয় পদার্থের প্রাথমিক পরিমাণের উপর নির্ভর করে? **11.** একটি তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধায়ুকাল এবং বিভাজন ধ্রুবকের মধ্যে সম্পর্কটির গাণিতিক রূপ প্রকাশ করো। **12.** রেডিয়ামের অর্ধায়ুকাল 1590 বলতে কী বোঝায়? অর্ধায়ুকালের বৈশিষ্ট্যগুলির উল্লেখ করো। **13.** তেজস্ক্রিয় পরিমাপের জন্য বিভিন্ন এককগুলির সংজ্ঞা দাও। তেজস্ক্রিয়তা পরিমাপের জন্য ব্যবহৃত S.I. এককের নাম কী? কোনো তেজস্ক্রিয় মৌলের x সংখ্যক পরমাণু প্রতি সেকেন্ডে বিভাজিত হলে তার তেজস্ক্রিয়তার পরিমাণ নির্ণয় করো। **14.** ফাজান্স এবং সডির গ্রুপ সরণ সূত্রটি বিবৃত করো এবং ব্যাখ্যা করো। $_{86}Rn^{222}$ থেকে পর পর দুটি α-কণা এবং 2টি β-কণা নির্গত হয়ে শেষ উৎপন্ন মৌলটি পর্যায় সারণিতে কোন্ গ্রুপে স্থান পাবে? Rn একটি নিষ্ক্রিয় গ্যাস। **15.** $A \xrightarrow{-\alpha} {}_{87}B^{223} \xrightarrow{-\beta} C \xrightarrow{-\beta} D$ (i) এই তেজস্ক্রিয় পরিবর্তনটি সম্পূর্ণ করো। (ii) A এবং D মৌলের মধ্যে সম্পর্ক কী? (iii) A মৌলটি পর্যায় সারণীর তৃতীয় শ্রেণিভুক্ত হলে C মৌলটি কোন্ শ্রেণিতে বসবে? **16.** নিম্নলিখিত তেজস্ক্রিয় অবক্ষয় সারি অনুসারে প্রাকৃতিক $_{89}Ac^{227}$ ক্রমে র‍্যাডন (Rn) পরমাণুতে পরিণত হয়। $_{89}Ac^{227} \xrightarrow{\beta} Th \xrightarrow{-\alpha} Ra \xrightarrow{-\alpha} Rn$.**17.** Th এবং Rn পরমাণুর পরমাণু ক্রমাঙ্ক এবং ভরসংখ্যা নির্ণয় করো। পর্যায় সারণিতে Rn শূন্য শ্রেণিতে অবস্থিত। Ac এবং Ra পরমাণুদ্বয়ের অবস্থান নির্দেশ করো। **18.** (*a*) তেজস্ক্রিয় মৌল থেকে আইসোটোপের অস্তিত্ব কীভাবে প্রথম জানা যায়? (*b*) একটি নির্দিষ্ট মৌলের আইসোটোপগুলির রাসায়নিক

ধর্ম অনুরূপ হয় কেন? (c) ওদের ভৌত ধর্মের পার্থক্য হয় কেন? (d) ইউরেনিয়ামের দুটি স্বাভাবিক তেজস্ক্রিয় আইসোটোপের সংকেত লেখ। **19.** আইসোটোন, আইসোবার এবং আইসোটোপ বলতে কী বোঝ? উদাহরণ দিয়ে ওদের মধ্যে পার্থক্য বুঝিয়ে দাও। **20.** (a) একটি গ্যাসের মধ্য দিয়ে আল্‌ফা কণার স্রোত পাঠালে গ্যাসটির কী পরিবর্তন দেখা যায়? তেজস্ক্রিয় বিকিরণে পরমাণুর কোন্ অংশ থেকে বিটা কণা নির্গত হয়? (b) তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধ জীবনকাল বলতে কী বুঝ? দুটি তেজস্ক্রিয় পদার্থ ${}_{92}U^{235}$ এবং ${}_{92}U^{238}$ এর অর্ধ জীবনকাল যথাক্রমে $0{\cdot}71 \times 10^9$ এবং $4{\cdot}51 \times 10^9$ বছর। কোন্‌টির তাড়াতাড়ি বিয়োজিত হওয়ার সম্ভাবনা বেশি? [*Ans.* ${}_{92}U^{235}$]

[C] রচনাধর্মী প্রশ্ন ঃ

1. (a) নিউক্লিয়াসের স্থায়িত্ব কিসের উপর নির্ভর করে? C^{12} পরমাণু স্থায়ী অথচ C^{14} পরমাণুর নিউক্লিয়াস অস্থায়ী কেন? (b) গোল্ড ${}_{99}Au^{197}$ তেজস্ক্রিয় নয় অথচ ${}_{88}Ra^{226}$ তেজস্ক্রিয় কেন? (c) নীচের গুলির ক্ষেত্রে কেন্দ্রকের স্থায়িত্ব লাভের জন্য কী ঘটে উদাহরণ সহ বর্ণনা করো—(i) যেসব মৌলের কেন্দ্রকে n/p এর অনুপাত কম হয়, (ii) যেসব মৌলের কেন্দ্রকে n/p এর অনুপাত খুব বেশি হয়। (iii) যেসব মৌলের কেন্দ্রকে n/p এর অনুপাত খুবই কম হয়।

2. (a) এক গ্রাম রেডিয়াম ধাতু এবং রেডিয়াম ক্লোরাইড যৌগে উপস্থিত এক গ্রাম রেডিয়ামের তেজস্ক্রিয়তা কী সমান হবে না ভিন্ন হবে? উত্তরের সপক্ষে যুক্তি দাও। (b) তেজস্ক্রিয় পদার্থের খনিতে লেড পাওয়া যায় কেন?

3. (a) পরমাণুর নিউক্লিয়াসের মধ্যে ইলেকট্রন থাকে না অথচ তেজস্ক্রিয় বিকিরণে নিউক্লিয়াস থেকে β-কণা নির্গত হয় কী করে? (b) তেজস্ক্রিয় মৌলের খনিতে প্রায়ই হিলিয়াম গ্যাস পাওয়া যায় কেন? **[H.S. 2000]**

4. কোনো একটি তেজস্ক্রিয় মৌলের নিউক্লিয়াস থেকে 1টি α-কণা এবং পরপর 2টি β-কণা নির্গত হলে পর্যায় সারণিতে আদি ও নতুন মৌলের স্থান একই শ্রেণিতে হয় কেন? (d) তেজস্ক্রিয় বিকিরণে β-কণিকাগুলি পরমাণুর কোন অংশ থেকে নির্গত হয়? তোমার উত্তরের স্বপক্ষে যুক্তি দেখাও। **[H.S. '89]**

5. (a) কোন্‌টি γ রশ্মি বিকিরণ করে—জনক মৌল না অপত্য মৌল? (b) α ও β কণাগুলি আধানযুক্ত। কিন্তু তেজস্ক্রিয় মৌল থেকে α ও β বিচ্ছুরণের ফলে প্রাপ্ত মৌলের পরমাণু নিস্তড়িত কেন ব্যাখ্যা করো।

6. (a) নিউক্লিয় বিভাজন (fission) এবং নিউক্লিয় সংযোজন বলতে কী বোঝ? (b) নিউক্লিয় বিভাজন এবং নিউক্লিয় সংযোজন কীভাবে ঘটানো হয় সেই সম্পর্কে আলোচনা করো। (b) নিউক্লিয় সংযোজনের আগে নিউক্লিয় বিভাজন ঘটানো প্রয়োজন ব্যাখ্যা করো।

7. (a) নিউক্লিয় বিভাজন নিউক্লিয় সংযোজনের মধ্যে পার্থক্য বুঝিয়ে দাও। দুটি প্রক্রিয়ায় বিপুল পরিমাণ শক্তি মুক্ত হয় কেন?

8. নিউক্লিয় রিঅ্যাক্টারের কার্যপ্রণালীর নীতি বর্ণনা করো। একটি নিউক্লিয় রিঅ্যাক্টারের সংক্ষিপ্ত বর্ণনা দাও।

[D] গাণিতিক প্রশ্ন ঃ

1. রেডনের অর্ধায়ুকাল 3·8 দিন। কতদিন পর কিছু পরিমাণ রেডনের 1/20 অংশ অপরিবর্তিত থাকবে? [*Ans.* 16·4 দিন]

2. 1 g Ra থেকে প্রতি সেকেন্ডে $3{\cdot}6 \times 10^{10}$ সংখ্যক কণা নিঃসৃত হলে Ra-এর অর্ধায়ুকাল কত? Ra = 226. [*Ans.* 1580 বৎসর]

3. ${}_{92}U^{238}$ এর বিঘটন ধ্রুবক 152×10^{10} / বৎসর / ${}_{92}U^{238}$ এর অর্ধায়ুকাল কত? [*Ans.* 4156×10^9 বৎসর]

4. একটি তেজস্ক্রিয় মৌলের অর্ধায়ুকাল 100 সে হলে বিঘটন ধ্রুবক কত? [*Ans.* $6{\cdot}93 \times 10^{-3}$ সে]

5. একটি তেজস্ক্রিয় মৌলের অর্ধায়ুকাল 100 সেকেন্ড 1 মৌলটির বিভাজন ধ্রবকের মান কত। [*Ans.* $6{\cdot}93 \times 10^{-3}$ সে]

● পরমাণুর গঠন সম্পর্কিত প্রশ্নাবলি ঃ

[A] অতি সংক্ষিপ্ত প্রশ্ন ঃ

(1) ${}_{92}U^{238}$ তে কতগুলি নিউট্রন থাকে? **(2)** একটি ইলেকট্রনের চার্জ ও ভর কত? **(3)** কোন মৌলের কেন্দ্রকে নিউট্রন নেই? **(4)** কোন অর্বিট্যালের অভিমুখ নেই? **(5)** নোডাল তল কাকে বলে? p অর্বিট্যালে কটি নোডাল তল আছে? **(6)** কোন্ মুখ্য শক্তি স্তরে p অর্বিট্যাল থাকে না? **(7)** কোন কোয়ান্টাম সংখ্যা অর্বিট্যালের আকার, আয়তন ও বিন্যাস প্রকাশ করে? **(8)** ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ সম্পর্কে বোরের স্বীকার্যটি বিবৃত করো? **(9)** কোন্ মুখ্যশক্তিস্তরে f অর্বিট্যাল আরম্ভ হয়? **(10)** d উপশক্তি স্তরে সর্বাধিক কটি ইলেকট্রন থাকতে পারে? **(11)** কোন মুখ্যশক্তি স্তরে p অর্বিট্যাল নেই? **(12)** S. I. এককে প্লাঙ্ক ধ্রুবকের মান কত?

[B] সংক্ষিপ্ত প্রশ্ন ঃ

1. (a) পরমাণু গঠনে তিনটি মূল কণার নাম লেখ। (b) পরমাণুর গঠনে এই তিনটি কণিকার ভূমিকা ও অবস্থান কী? এদের আধানের মান লিখ। (c) তিনটি কণার প্রকৃতি ও বৈশিষ্ট্য উল্লেখ করো। **2.** পরমাণুর গঠন সম্বন্ধে রাদারফোর্ডের ধারণা বর্ণনা করো। কী পরীক্ষা করে তিনি এই ধারণার বশবর্তী হন? **3.** পরমাণু গঠন সম্বন্ধে বোরের মতবাদটি বর্ণনা করো। কী কী স্বীকৃতির উপর ভিত্তি করে এই মতবাদ গড়ে উঠেছে? **4.** রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেল কী কী কারণে পরিত্যক্ত হয়েছিল? বোরের পরমাণু মডেলের প্রধান বৈশিষ্ট্যগুলি কী? বোরের পরমাণু মডেলের ত্রুটিগুলি উল্লেখ করো। **5.** পরমাণু সম্পর্কিত বোরের তত্ত্বে 'স্থিতি অবস্থায় ইলেকট্রনীয় কক্ষপথ সমূহ'—বলতে কী বোঝায়? স্থিত অবস্থায়

কক্ষপথে থাকার সময় কোনো ইলেকট্রন স্থির অবস্থায় থাকে কী? ব্যাখ্যা করো।**6.** ইলেকট্রনের অ্যাজিমুথ্যাল কোয়ান্টাম সংখ্যা কাকে বলে? এই কোয়ান্টাম সংখ্যা থেকে কী কী বিষয় জানা যায়? কতরকম উপশক্তি স্তর আছে? **7.** (*a*) পরমাণুর মুখ্য শক্তিস্তর ও উপশক্তিস্তর বলতে কী বোঝ? কত রকম উপশক্তিস্তর আছে—বিভিন্ন উপশক্তিস্তরগুলিকে কীভাবে চিহ্নিত করা হয়?। (*b*) *s, p, d, f* ইলেকট্রন কাকে বলে? (*c*) H পরমাণু, H^+ আয়ন এবং প্রোটনের মধ্যে পার্থক্য কী? **8.** মৌলগুলির পরমাণুতে ইলেকট্রন বিন্যাস দেখাও ঃ ক্লোরিন, আরগন, ক্রোমিয়াম Cu^{2+}, P^{3-} এবং H^-।**9.** 23নম্বর মৌলের ইলেকট্রন বিন্যাস দেখাও।$3p$ অর্বিট্যালের ইলেকট্রনকে কী কী কোয়ান্টাম সংখ্যা দ্বারা প্রকাশ করবে?পরমাণুর নিম্নোক্ত উপকক্ষে সর্বোচ্চ কতগুলি ইলেকট্রন অবস্থান করতে পারে লেখ—(a) $3p$, (b) $3d$. **10.** মৌলের তিনটি আদি কণার সঙ্গে পরমাণু-ক্রমাঙ্ক ও পারমাণবিক ভরের সম্পর্ক কী? মৌলের পরমাণুর সঙ্গে নিউট্রন সংখ্যার সম্পর্ক কী?

[C] রচনাধর্মী প্রশ্ন ঃ

1. কক্ষ (orbit) এবং কক্ষকের (orbital) মধ্যে কোনো পার্থক্য আছে কী? $2p$ এবং $3p$ কক্ষকের আকৃতি এবং আকারের মধ্যে কোনো পার্থক্য আছে কী? **2.** (*a*) ক্লোরিন 35 এবং 37-এর পরমাণুতে তিনরকম আদিকণার সংখ্যা কারণসহ নির্দেশ করো। (Cl-এর পাঃ সংখ্যা = 17) **3.** Cr, Fe^{3+} এবং Cu^{2+} এর ইলেকট্রন বিন্যাস লেখ। $4d$ এবং $4f$ উপকক্ষে সর্বাধিক কয়টি ইলেকট্রন থাকতে পারে? **4.** পরমাণু-ক্রমাঙ্ক 11, 24, 36 বিশিষ্ট মৌলগুলির ইলেকট্রন বিন্যাস লেখ এবং এই মৌলগুলির মধ্যে কোন্ মৌলটির রাসায়নিক ধর্ম নিষ্ক্রিয় হলে তার কারণ দেখাও।**5.** *M*-মৌলের পরমাণু-ক্রমাঙ্ক 26. M^{2+} এবং M^{3+}-এর ইলেকট্রন বিন্যাস দেখাও এবং প্রতিক্ষেত্রে অযুগ্ম ইলেকট্রন সংখ্যা নির্ণয় করো।**6.** (i) যদি H পরমাণুর ইলেকট্রনটি নিউক্লিয়াসের দিকে ক্রমাগত ধাবিত হয় তবে নিঃসৃত শক্তি থেকে কী ধরনের বর্ণালি দেখা যাবে?(ii) Ca^{2+} এবং S^{2-} আয়ন দুটির স্থিতাবস্থায় ইলেকট্রন বিন্যাস দেখাও এবং ওদের মধ্যে প্রোটন ও নিউট্রন সংখ্যা নির্ণয় করো।**7.** ডি-ব্রগলির সমীকরণটি লেখ। একটি গতিশীল কণার ভরের পরিবর্তনের সাথে সাথে তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পরিবর্তন হয় কীভাবে? **8.** (i) কক্ষকের সংজ্ঞা লেখ। যে অর্বিট্যালের $n = 4$, $l = 1$ এবং $n = 2, l = 3$ তাদের কী নাম দেওয়া হয়? (ii) $2p$ এবং $3p$ ইলেকট্রনের n, l এবং m এর মান কত? (iii) কোন্ মুখ্য শক্তিস্তরে প্রথম *g* উপকক্ষের আরম্ভ হবে? এই উপকক্ষে মোট ইলেকট্রনের সংখ্যা কত হবে? (iv) চৌম্বক কোয়ান্টাম সংখ্যার তাৎপর্য কী? (v) $4f$ উপকক্ষে সম-ঘূর্ণন কোয়ান্টাম সংখ্যা বিশিষ্ট ইলেকট্রনের সংখ্যা কত? **9.** (*a*) ইলেকট্রনের দ্বৈত চরিত্র বলতে কী বোঝায়? ডি ব্রগলির সমীকরণটি লেখ। কোন্ কোয়ান্টাম সংখ্যা থেকে অর্বিট্যালের আকার জানা যায়? **10.** (a) নীচেরগুলির কোয়ান্টাম সংখ্যা ইলেকট্রনের অর্বিট্যালের বর্ণনা দাও (i) $n = 4, l = 1, m = 0$, (ii) $n = 3, l = 0$, $m = 0$ (b) আয়নগুলির ইলেকট্রন বিন্যাস লেখ। প্রতিটিতে অযুগ্ম ইলেকট্রনের সংখ্যা বল—(i) Se^{2-} (z = 34), (ii) Ni^{2+} (vi) Cr^{3+}

3  রাসায়নিক শক্তিবিজ্ঞান ও রাসায়নিক গতিতত্ত্ব [Chemical Energetics and Chemical Dynamics]

● রাসায়নিক শক্তিবিজ্ঞান ●

(Chemical Energetics)

যে-কোনো রাসায়নিক প্রক্রিয়াতে কোনো-না-কোনো ভাবে তাপীয় পরিবর্তন ঘটে—হয় তাপ উদ্ভূত হয় নয়তো শোষিত হয়। সব রকম রাসায়নিক পরিবর্তনে এবং কতকগুলি ভৌত পরিবর্তনে শক্তির যে পরিবর্তন ঘটে থাকে সে সম্বন্ধেই রাসায়নিক শক্তিবিজ্ঞান আলোচনা করে। **রসায়ন বিজ্ঞানের যে শাখায় রাসায়নিক বিক্রিয়ায় শক্তির পরিবর্তন নিয়ে আলোচনা করা হয়, তাকে রাসায়নিক শক্তিবিজ্ঞান বলা হয়।**

তাপশক্তির একক ঃ c. g. s. পদ্ধতিতে ক্যালোরি এবং S. I. পদ্ধতিতে জুল। **1 ক্যালোরি = 4·184 জুল।**

3.1. ভৌত এবং রাসায়নিক পরিবর্তনে শক্তির (তাপ) পরিবর্তন [Energy changes in physical and chemical transformations]

রাসায়নিক বিক্রিয়ায় কেবল পরমাণুগুলিই অংশ নেয়, তাই বিক্রিয়ার আরম্ভে প্রতিটি বিক্রিয়ক পদার্থের অণুগুলির বন্ধন ভেঙে পরমাণু বা পরমাণু জোটে পরিণত হয়। এইভাবে সৃষ্ট পরমাণু বা পরমাণু জোট পরস্পরের মধ্যে নতুন বন্ধন সৃষ্টির মাধ্যমে পরস্পর যুক্ত হয়ে বিক্রিয়াজাত পদার্থে পরিণত হয়।

এখন কোনো যৌগের অণুর মধ্যস্থ বন্ধনগুলিকে ছিন্ন করতে শক্তির প্রয়োজন হয় অর্থাৎ শক্তি শোষিত হয়, বন্ধন সৃষ্টি করতে শক্তি মুক্ত হয়। যদি কোনো বিক্রিয়ায় মোট মুক্ত শক্তি বন্ধন ভাঙতে প্রয়োজনীয় শক্তির চেয়ে বেশি হয়, তাহলে নিট ফল হবে শক্তির মুক্তি এবং এই জাতীয় বিক্রিয়াটিকে বলা হয় তাপউৎপাদক বা তাপমোচী বিক্রিয়া। অপরদিকে কোনো বিক্রিয়ায় বন্ধন ছিন্ন করতে প্রয়োজনীয় শক্তি, বন্ধন সৃষ্টি করতে মুক্ত শক্তির চেয়ে বেশি হলে, নিট ফল হবে শক্তির শোষণ এবং বিক্রিয়াটিকে বলা হয় তাপশোষক বা তাপগ্রাহী বিক্রিয়া।

এইভাবে দেখা যায় প্রতিটি বিক্রিয়ায় শক্তির পরিবর্তন ঘটে—শক্তির এই পরিবর্তন তাপের মোচন অথবা শোষণ রূপে প্রকাশ পায়। আবার কতকগুলি শর্তে শক্তির এই পরিবর্তন আলোকশক্তি, তাপশক্তি ইত্যাদি রূপেও প্রকাশ পায়।

এই জাতীয় কতগুলি বিক্রিয়ার উদাহরণ দেওয়া হল—

(i) কয়লার দহনে তাপ উৎপন্ন হয় যার জন্য কয়লা জ্বালানি রূপে ব্যবহৃত হয়। $C(s) + O_2(g) = CO_2(g) +$ তাপ

(ii) প্রাকৃতিক গ্যাসের (CH_4) দহনে তাপ ও আলোক উৎপন্ন হয়। $CH_4(g) + 2O_2(g) = CO_2(g) + 2H_2O(g)$

(iii) জৈবিক প্রক্রিয়ায় কার্বোহাইড্রেটের দহনে যে তাপ উৎপন্ন হয়, সেই তাপ দেহের উষ্ণতা বজায় রাখে।

$$C_6H_{12}O_6(s) + 6O_2(g) = 6CO_2(g) + 6H_2O + \text{তাপ}$$

কোনো সিস্টেম ও পরিবেশের মধ্যে শক্তির আদান-প্রদান ঘটে তাপ এবং কার্যের মাধ্যমে। সিস্টেম ও পরিবেশের মধ্যে উষ্ণতার পার্থক্য থাকলে তাপশক্তির আদান-প্রদান ঘটে এবং তাপ সর্বদা বেশি উষ্ণতার বস্তু থেকে কম উষ্ণতার বস্তুতে সঞ্চালিত হয়। অপরদিকে কার্য করা হয় সাধারণত সিস্টেম ও পরিবেশের মধ্যে চাপের পার্থক্য থাকলে। যদি সিস্টেমের চাপ পরিবেশের চেয়ে বেশি হয়, তাহলে সিস্টেম দ্বারা কার্য করা হয়, আর পরিবেশের চাপ সিস্টেমের চাপের চেয়ে বেশি হলে পরিবেশ দ্বারা সিস্টেমের উপর কার্য করা হয়।

3.2. তাপমোচী এবং তাপগ্রাহী বিক্রিয়া [Exothermic and Endothermic reaction]

তাপ-উৎপাদক বা তাপমোচী বিক্রিয়া (Exothermic reaction) ঃ *যে রাসায়নিক বিক্রিয়ায় তাপ মুক্ত হয়, সেই বিক্রিয়াকে তাপমোচী বিক্রিয়া বলে। এই জাতীয় রাসায়নিক বিক্রিয়ার ফলে পদার্থের যে পরিবর্তন ঘটে তাকে তাপমোচী পরিবর্তন বলে।* যেমন, কার্বন ও অক্সিজেনের মধ্যে রাসায়নিক বিক্রিয়ায় কার্বন ডাইঅক্সাইড উৎপন্ন হওয়ার সময় তাপ মুক্ত হয়। N_2 এবং H_2-এর সংযোগে NH_3 উৎপন্ন হওয়ার সময় তাপ মুক্ত হয়। এই বিক্রিয়াগুলি হল তাপ-উৎপাদক বিক্রিয়া।

(1) $C(s) + O_2(g) = CO_2(g) + 393·5$ kJ (2) $N_2(g) + 3H_2(g) = 2NH_3(g) + 92·3$ kJ

তাপমোচী পদার্থ ঃ *যে পদার্থ রাসায়নিক পরিবর্তনের ফলে উৎপন্ন হওয়ার সময় তাপ মুক্ত হয়, সেই পদার্থকে তাপমোচী পদার্থ বলে।* এখানে কার্বন ডাইঅক্সাইড, অ্যামোনিয়া হল তাপমোচী পদার্থ।

উপরের বিক্রিয়াগুলিতে, যেমন (1) নং বিক্রিয়ায় দেখা যায়, 1 গ্রাম পরমাণু কার্বন এবং 1 মোল অক্সিজেনের বিক্রিয়ায় 1 মোল CO_2 উৎপন্ন হয় এবং 393·5 kJ তাপ মুক্ত হয়। এর থেকে নিশ্চিতভাবে জানা যায় যে, বিক্রিয়কগুলি (C এবং O_2) থেকে শক্তি মুক্ত হওয়ার ফলে 393·5 kJ তাপ মুক্ত হয়েছে। এর থেকে আরও জানা যায় যে, বিক্রিয়াজাত পদার্থ CO_2-এর মধ্যে বিক্রিয়কগুলির চেয়ে কম পরিমাণ শক্তি বর্তমান। সুতরাং বলা যায়, একটি তাপমোচী বিক্রিয়ায়, বিক্রিয়াজাত পদার্থের বিক্রিয়াতাপ (Heat of reactions) অথবা এনথ্যালপি, বিক্রিয়ক পদার্থগুলির বিক্রিয়াতাপ বা এনথ্যালপির চেয়ে কম হবে।

তাপগ্রাহী বিক্রিয়া (Endothermic reaction) ঃ যে রাসায়নিক বিক্রিয়ায় তাপ শোষিত হয়, সেই বিক্রিয়াকে তাপগ্রাহী বিক্রিয়া বলে। এই জাতীয় রাসায়নিক বিক্রিয়ার ফলে পদার্থের যে পরিবর্তন ঘটে তাকে তাপগ্রাহী পরিবর্তন বলে। যেমন কার্বন এবং সালফারের মধ্যে রাসায়নিক বিক্রিয়ায় কার্বন ডাই-সালফাইড (CS_2) উৎপন্নের সময় তাপ শোষিত হয়। N_2 এবং O_2 সংযোগে নাইট্রিক অক্সাইড (NO) উৎপন্নের সময় তাপ শোষিত হয়। এগুলি হল তাপগ্রাহী বিক্রিয়া।

(1) $C(s) + 2S(s) = CS_2(l) - 92$ kJ (2) $N_2(g) + O_2(g) = 2NO(g) - 180·5$ kJ

তাপগ্রাহী পদার্থ—যে পদার্থ, রাসায়নিক পরিবর্তনের ফলে উৎপন্ন হওয়ার সময় তাপ শোষিত হয়, সেই পদার্থকে তাপগ্রাহী পদার্থ বলে। এখানে কার্বন ডাই-সালফাইড, নাইট্রিক অক্সাইড প্রভৃতি হল তাপগ্রাহী পদার্থ।

বিক্রিয়ক পদার্থ C এবং S-এর তুলনায় বিক্রিয়াজাত পদার্থ CS_2-এর মধ্যে শক্তির পরিমাণ বেশি থাকে।

উপরের বিক্রিয়াগুলিতে যেমন (2) নং বিক্রিয়ায় দেখা যায় 1 মোল N_2 এবং 1 মোল O_2-এর বিক্রিয়ায় 2 মোল NO উৎপন্ন হওয়ার সময় 180·5 kJ তাপ শোষিত হয়, অর্থাৎ পরিবেশ থেকে এই পরিমাণ তাপ সিস্টেমে যুক্ত হয়। সুতরাং এক্ষেত্রে বিক্রিয়াজাত পদার্থ NO-এর মধ্যে বিক্রিয়কগুলির শক্তির চেয়ে বেশি পরিমাণ শক্তি বর্তমান থাকে। সুতরাং তাপগ্রাহী বিক্রিয়ায়, বিক্রিয়াজাত পদার্থের বিক্রিয়াতাপ বা এনথ্যালপি বিক্রিয়ক পদার্থগুলির বিক্রিয়াতাপ বা এনথ্যালপির চেয়ে বেশি।

তাপমোচী পদার্থের বিক্রিয়াতাপ, মূল পদার্থের বিক্রিয়াতাপের চেয়ে কম হয়, তাই তাপমোচী পদার্থমাত্রই অপেক্ষাকৃত নিষ্ক্রিয় এবং সুস্থিত হয়। এজন্য তাপমোচী পদার্থকে বিয়োজিত করতে বেশি পরিমাণ শক্তির প্রয়োজন হয়।

তাপগ্রাহী পদার্থের বিক্রিয়াতাপ বা এনথ্যালপি মূল পদার্থের বিক্রিয়াতাপের চেয়ে বেশি, তাই তাপগ্রাহী পদার্থগুলি বেশি সক্রিয় এবং অস্থায়ী হয়। এই জাতীয় পদার্থকে বিয়োজিত করতে হলে কম তাপ শক্তির প্রয়োজন হয়।

2. কতকগুলি ভৌত পরিবর্তনেও তাপ শোষিত হয় বা তাপের উদ্ভব ঘটে। যেমন, অ্যামোনিয়াম নাইট্রেট (NH_4NO_3) বা অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইডকে (NH_4Cl) জলে দ্রবীভূত করলে দ্রবণের উষ্ণতা কমে যায়। এই পরিবর্তনগুলি তাপ-শোষক। কস্টিক সোডা (NaOH) বা গাঢ় H_2SO_4-কে জলে মেশালে তাপ উৎপন্ন হয়। এই পরিবর্তনগুলি হল তাপমোচী।

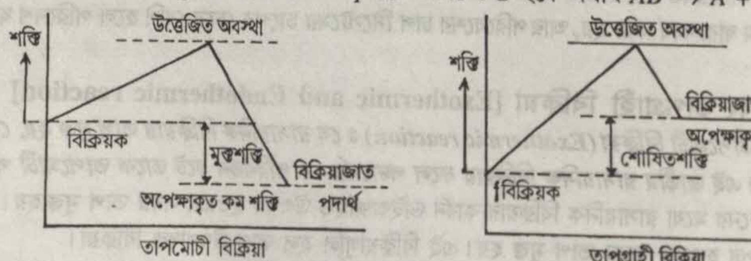
কোনো উভমুখী বিক্রিয়ায় যদি সম্মুখ বিক্রিয়াটি তাপমোচী হয় তাহলে বিপরীত বিক্রিয়াটি তাপগ্রাহী বিক্রিয়া হবে। যেমন,

$$H_2(g) + 1/2\ O_2(g) \rightarrow H_2O\ (l) + 285·9\ \text{kJ}$$

সম্মুখ বিক্রিয়াটি তাপমোচী, 285·9 kJ mol^{-1} তাপ মুক্ত হয়। সুতরাং H_2O (l)-এর বিয়োজনে মোল প্রতি এই পরিমাণ তাপের প্রয়োজন হবে এবং বিক্রিয়াটি তাপগ্রাহী বিক্রিয়া হবে। $H_2O\ (l) \rightarrow H_2(g) + 1/2\ O_2(g) - 285·9$ kJ

সুতরাং সাধারণভাবে বলা যায়, যদি একাধিক সরল বিক্রিয়ক থেকে কোনো যৌগ গঠনে অর্থাৎ বন্ধন গঠনে তাপ মুক্ত হয়, তাহলে ওই যৌগ থেকে ওই সরল পদার্থগুলি উৎপন্নে অর্থাৎ বন্ধনগুলি ভাঙার জন্য সেই একই পরিমাণ তাপ শোষিত হবে।

যেমন, $A + B \rightarrow AB + q$ cal হলে $AB + q$ cal $\rightarrow A + B$ হবে অর্থাৎ $AB \rightarrow A + B - q$ cal হবে।



চিত্র 3.1 ঃ তাপমোচী ও তাপগ্রাহী বিক্রিয়ার লেখ

তাপমোচী বা তাপগ্রাহী বিক্রিয়া অথবা কোনো তাপ রাসায়নিক সমীকরণ প্রকাশের ক্ষেত্রে, সাধারণত দুরকম প্রতীক ব্যবহার করা হয়—প্রথম রীতি অনুযায়ী বিক্রিয়ায় মুক্ত তাপ এবং শোষিত তাপকে যথাক্রমে $+ q$ এবং $- q$ দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

স্থির চাপে কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়া ঘটার সময় মুক্ত বা শোষিত তাপের পরিবর্তনকে এনথ্যালপির পরিবর্তন (ΔH) বলা হয়।

ΔH = বিক্রিয়াজাত পদার্থের এনথ্যালপির পরিমাণ (H_p) − বিক্রিয়কের এনথ্যালপির পরিমাণ (H_r)

কোনো বিক্রিয়ায় বিক্রিয়কের মোট তাপের পরিমাণ বিক্রিয়াজাত পদার্থের মোট তাপের পরিমাণের চেয়ে বেশি হলে, তাপ মুক্ত হয়—বিক্রিয়াটি তাপমোচী হয় অর্থাৎ $H_r > H_p$ হয়। এই অবস্থা হলে ΔH নেগেটিভ হবে। যেমন, $C + O_2 = CO_2$ $\Delta H = -393$ kJ mol^{-1} আবার কোনো বিক্রিয়ায়, বিক্রিয়াজাত পদার্থের মোট তাপ, বিক্রিয়কের মোট তাপের চেয়ে বেশি হলে, তাপ শোষিত হয়—বিক্রিয়াটি তাপগ্রাহী হয় অর্থাৎ ΔH পজিটিভ হয়, যেমন, $N_2 + O_2 = 2NO$, $\Delta H = +180$ kJ mol^{-1}

- **তাপমোচী বিক্রিয়া এবং তাপগ্রাহী বিক্রিয়ার মধ্যে পার্থক্য ঃ**

তাপমোচী বিক্রিয়া	তাপগ্রাহী বিক্রিয়া
(1) বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলির বিক্রিয়াতাপ বিক্রিয়কগুলির বিক্রিয়াতাপের চেয়ে কম হয়।	(1) বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলির বিক্রিয়াতাপ, বিক্রিয়কগুলির বিক্রিয়াতাপের চেয়ে বেশি হয়।
(2) বিক্রিয়কের চেয়ে, বিক্রিয়াজাত পদার্থ বেশি সুস্থির হয়।	(2) বিক্রিয়াজাত পদার্থের চেয়ে বিক্রিয়ক বেশি সুস্থির হয়।
(3) বিক্রিয়ায় তাপ মুক্ত হয়।	(3) বিক্রিয়ায় তাপ শোষিত হয়।
(4) এনথ্যালপির পরিবর্তন ΔH নেগেটিভ হয় ($-\Delta H$)।	(4) এনথ্যালপির পরিবর্তন ΔH পজিটিভ হয় ($+\Delta H$)।

3.3. অভ্যন্তরীণ-শক্তির পরিবর্তন এবং এনথ্যালপির পরিবর্তন [Internal energy change and Enthalpy change]

(a) অভ্যন্তরীণ শক্তি ঃ প্রতিটি বস্তুই একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ শক্তির অধিকারী হয় যা বস্তুটির রাসায়নিক প্রকৃতি এবং অবস্থার উপর নির্ভর করে। বস্তুটির এই শক্তিকে অভ্যন্তরীণ শক্তি বলা হয় এবং প্রতীক E দ্বারা প্রকাশ করা হয় (IUPAC নিয়মানুযায়ী অভ্যন্তরীণ শক্তিকে U-অক্ষর দ্বারা প্রকাশ করা হয়)। প্রতিটি বস্তুর মধ্যে একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ অভ্যন্তরীণ শক্তি বর্তমান থাকে, যা বস্তুটির উপাদান অণু, পরমাণু বা আয়নের বিভিন্ন প্রকার শক্তির সমষ্টির সমান হয়।

কোনো সিস্টেমের অভ্যন্তরীণ শক্তি বলতে বোঝায় যে, সিস্টেমটি যে অণু, পরমাণু বা আয়ন দ্বারা গঠিত সেই কণাগুলির বিভিন্ন রকম শক্তির মিলিত শক্তি। বিভিন্ন বস্তুর অভ্যন্তরীণ শক্তির মান বিভিন্ন হয়। যেমন একই চাপ ও উষ্ণতায় 1 মোল NO_2 এবং 1 মোল CO_2 -এর অভ্যন্তরীণ শক্তি এক নয়। একই চাপে, 300 K উষ্ণতার 1 মোল জলের অভ্যন্তরীণ শক্তি, 310 K উষ্ণতার 1 মোল জলের অভ্যন্তরীণ শক্তি এক হয় না।

অভ্যন্তরীণ শক্তি সিস্টেমের মধ্যস্থ বস্তুর পরিমাণের উপর নির্ভর করে, তাই এটি হল বস্তুর একটি **পরিমাণগত ধর্ম** (Extensive property)। বিক্রিয়কের অভ্যন্তরীণ শক্তি E_r এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থের E_p হলে, কোনো প্রক্রিয়ায় **শক্তি মুক্ত হলে,** $E_p < E_r$ হয়। সুতরাং $(E_p - E_r) < 0$ বা $\Delta E < 0$ অর্থাৎ ΔE নেগেটিভ হয়। কোনো প্রক্রিয়ায় **শক্তি শোষিত হলে** $E_p > E_r$ হয় সুতরাং $\Delta E > 0$ অর্থাৎ ΔE পজিটিভ হয়।

অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন ঃ কোনো সিস্টেমের অভ্যন্তরীণ শক্তি বাড়লে ওর উষ্ণতা বাড়ে অথবা অবস্থার পরিবর্তন হয়। কোনো বস্তুর অভ্যন্তরীণ শক্তি সরাসরি পরিমাপ করা যায় না, তবে কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ার যে কোনো দুটি অবস্থার অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন পরিমাপ করা যায়। যেমন, কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ায়, বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলির অভ্যন্তরীণ শক্তি এবং বিক্রিয়ক পদার্থগুলির অভ্যন্তরীণ শক্তির পার্থক্য থেকে অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তনের মান পাওয়া যায়। ধরি, একটি সিস্টেমের অভ্যন্তরীণ শক্তি $= E_1$, এখন সিস্টেমটিতে q পরিমাণ তাপ সরবরাহ করা হল, এর ফলে সিস্টেমটির অভ্যন্তরীণ শক্তি বেড়ে $E + q$ হল। এই অবস্থায় সিস্টেমটির উপর W পরিমাণ কার্য করা হলে, ওর অভ্যন্তরীণ শক্তি আরও বেড়ে E_2 হল। E_2 হল অন্তিম অবস্থার শক্তি।

$$\therefore E_2 = E_1 + q + W, \quad \text{বা, } E_2 - E_1 = q + W \quad \text{বা, } \Delta E = q + W \quad \cdots \quad \cdots \quad (3.1)$$

অর্থাৎ, অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন = সিস্টেমে প্রযুক্ত তাপ + সিস্টেমের উপর কৃত কার্য

অভ্যন্তরীণ শক্তি হল অবস্থার নির্ভরক। অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন ΔE, কেবল সিস্টেমের প্রাথমিক এবং অন্তিম অবস্থার উপর নির্ভর করে। **কোন্ পথে বা কীভাবে পরিবর্তনটি ঘটলো তার উপর নির্ভর করে না।**

(i) আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে, সমোষ্ণ পরিবর্তনে অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন হয় না, অর্থাৎ এক্ষেত্রে $\Delta E = 0$

সুতরাং $0 = q + W$ বা, $q = -W$ ... ... (3·2)

এর দ্বারা বোঝায় যে, সিস্টেমে প্রযুক্ত তাপ অর্থাৎ সিস্টেম দ্বারা শোষিত তাপ. **সিস্টেমের উপর নেগেটিভ কৃত কার্যের পরিমাণের সমান অর্থাৎ সিস্টেম দ্বারা কৃত কার্যের সমান।**

(ii) অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন $\Delta E = q + W$. কোনো সিস্টেমে চাপ-আয়তন কার্যের ক্ষেত্রে, কার্য $W = -P\Delta V$ হয়।

সুতরাং, $\Delta E = q - P\Delta V$ ... ... (3.3)

প্রক্রিয়াটি স্থির আয়তনে ঘটালে অর্থাৎ $\Delta V = 0$ হলে, $P\Delta V = 0$ হয়। সুতরাং $\Delta E = q - 0$ বা, $\Delta E = q_v$ হয়। q_v দ্বারা বোঝান হয় যে স্থির আয়তনে প্রক্রিয়াটি ঘটানো হয়।

সুতরাং দেখা গেল, **স্থির আয়তনে অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন = শোষিত বা মুক্ত তাপ।**

(b) এনথ্যালপির পরিবর্তন ঃ স্থির চাপে কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ায় অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তনকে প্রকাশ করার জন্য, 'এনথ্যালপি পরিবর্তন' কথাটি ব্যবহার করা হয়।

কোনো সিস্টেমের অভ্যন্তরীণ শক্তি এবং চাপ-আয়তন কার্যের সমষ্টিকে এনথ্যালপি বলা হয়। এনথ্যালপিকে H অক্ষর দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

$H = E + PV$ ... ... (3.4)

যেখানে, H = এনথ্যালপি, E = অভ্যন্তরীণ শক্তি এবং PV = চাপ-আয়তন শক্তি বা কার্য।

একটি বিশেষ অবস্থায়, প্রত্যেক বস্তুরই একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ এনথ্যালপি থাকে যা পরিমাপ করা যায় না, তবে কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ার প্রাথমিক এবং অন্তিম অবস্থার মধ্যে এনথ্যালপির পরিবর্তন পরিমাপ করা যায়।

যেমন, একটি অবস্থার পরিবর্তনে $A \longrightarrow B$, এনথ্যালপির পরিবর্তনকে $\Delta H = H_B - H_A$ রূপে প্রকাশ করা যায়, যেখানে A অবস্থার এনথ্যালপি $= H_A$ এবং B অবস্থার এনথ্যালপি $= H_B$.

এনথ্যালপির পরিবর্তনকে এইভাবেও প্রকাশ করা যায়, $\Delta H = \Delta E + \Delta(PV)$ বা, $\Delta H = \Delta E + P\Delta V + V\Delta P$.

যদি প্রক্রিয়াটিকে স্থির চাপে ঘটান হয়, তাহলে $\Delta P = 0$ হয় সেক্ষেত্রে $\Delta H = \Delta E + P\Delta V$ হয়, ... (3.5)

এখন $\Delta E = q + W$ এবং পরিবর্তনটিতে যদি প্রসারণ ঘটিত কার্য হয়, তাহলে $W = -P\Delta V$ হয়, এবং $\Delta E = q - P\Delta V$ হয়। এখন (3.5) সমীকরণে ΔE এবং W-এর মান বসিয়ে পাই,

$\Delta H = q - P\Delta V + P\Delta V = q$ বা, $\Delta H = q$ (স্থির চাপে)

অর্থাৎ স্থির চাপে এনথ্যালপি পরিবর্তন $\Delta H = q_p$ ... ... (3.6)

সুতরাং স্থির চাপে কোনো প্রক্রিয়া ঘটার সময় এনথ্যালপির পরিবর্তনই হল মুক্ত বা শোষিত তাপ পরিবর্তনের পরিমাপক।

সুতরাং বলা যায় কোনো সিস্টেম দ্বারা শোষিত তাপের পরিমাণ $= q$ হলে,

স্থির আয়তনে $q = \Delta E$ এবং স্থির চাপে $q = \Delta H$

অভ্যন্তরীণ শক্তির মত, **এনথ্যালপিও সিস্টেমের অবস্থার উপর নির্ভর করে, কিন্তু কীভাবে বা কোন্ পথে পরিবর্তনটি ঘটে তার উপর নির্ভর করে না।**

● **ΔH এবং ΔE-এর মধ্যে সম্পর্ক ঃ** এনথ্যালপির পরিবর্তন এবং অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন অর্থাৎ ΔH এবং ΔE-এর সম্পর্কযুক্ত সমীকরণটি হল $\Delta H = \Delta E + P\Delta V$

কঠিন এবং তরলের ক্ষেত্রে ΔH এবং ΔE-এর মধ্যে পার্থক্য ধর্তব্যের মধ্যে না হলেও, গ্যাসীয় সিস্টেমের ক্ষেত্রে এই পার্থক্য বেশি হয়।

ধরি, স্থির উষ্ণতায় (T) এবং চাপে (P) একটি গ্যাসীয় রাসায়নিক বিক্রিয়ায়, V_r = গ্যাসীয় বিক্রিয়কের মোট আয়তন এবং V_p = বিক্রিয়াজাত গ্যাসগুলির মোট আয়তন, n_r = বিক্রিয়ক গ্যাসগুলির মোল সংখ্যা, n_p = বিক্রিয়াজাত গ্যাসগুলির মোল সংখ্যা ; তাহলে আদর্শ গ্যাসের সমীকরণ থেকে পাই

বিক্রিয়ক গ্যাসগুলির ক্ষেত্রে $PV_r = n_rRT$ (স্থির চাপ ও উষ্ণতায়) ... ... (3.7)

বিক্রিয়াজাত গ্যাসগুলির ক্ষেত্রে $PV_p = n_pRT$ (স্থির চাপ এবং উষ্ণতায়) ... ... (3.8)

এখন সমীকরণ (3.8) থেকে (3.7) বিয়োগ করে পাই $P(V_p - V_r) = RT(n_p - n_r)$

এখন যেহেতু $(n_p - n_r) = \Delta n_g$, সুতরাং $P\Delta V = RT\Delta n_g$ ... ... (3.9)

এখন (3.5)-সমীকরণে $P\Delta V$-এর মান বসিয়ে পাই, $\boxed{\Delta H = \Delta E + \Delta n_g\, RT}$

$$\begin{bmatrix} P \text{ স্থির চাপে} \\ \text{শক্তির পরিবর্তন} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V \text{ স্থির আয়তনে} \\ \text{শক্তির পরিবর্তন} \end{bmatrix} + RT \begin{bmatrix} \text{গ্যাসীয় মোল} \\ \text{সংখ্যার পরিবর্তন} \end{bmatrix}$$

এই সম্পর্কের সাহায্যে ΔH-কে ΔE-তে অথবা ΔE কে ΔH-তে পরিবর্তিত করা যায়।

● **কোন্ কোন্ শর্তে $\Delta H = \Delta E$ হয়?**

(i) যে বিক্রিয়ায় কোনো গ্যাসীয় বিক্রিয়ক বা বিক্রিয়াজাত পদার্থ থাকে না, যেমন লঘু HCl দ্রবণের সাথে NaOH দ্রবণের বিক্রিয়া— $HCl\ (aq) + NaOH\ (aq) = NaCl\ (aq) + H_2O\ (l)$

(ii) স্থির আয়তনের বন্ধ পাত্রে বিক্রিয়াগুলিকে ঘটালে, যেমন, $H_2(g) + Cl_2(g) = 2HCl(g)$ এখানে $\Delta V = 0$

এই বিক্রিয়ায় আয়তন পরিবর্তন $\Delta V = 0$ অর্থাৎ $\Delta n_g = 0$

সুতরাং এই ক্ষেত্রগুলিতে $\Delta H = \Delta E + \Delta n_g\, RT = \Delta E + 0 \times RT = \Delta E$ অর্থাৎ, $\Delta H = \Delta E$ হয়।

(iii) কোনো বিক্রিয়ায় যদি গ্যাসীয় উপাদানগুলির মোলসংখ্যা বাড়ে, তাহলে Δn_g-এর মান 0 না হয়ে পজিটিভ হবে। সেক্ষেত্রে এনথ্যালপি-এর পরিবর্তন ΔH-এর মান অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন ΔE-এর চেয়ে বেশি হবে।

অর্থাৎ $\Delta H > \Delta E$ হবে। যেমন, $PCl_5(g) = PCl_3\ (g) + Cl_2\ (g)$ $\quad \Delta n_g = (2 - 1) = +1$

(iv) কোনো বিক্রিয়ায় যদি গ্যাসীয় উপাদানগুলির মোল সংখ্যার হ্রাস হয়, তাহলে Δn_g-এর মান 0 না হয়ে নেগেটিভ হবে। সেক্ষেত্রে এনথ্যালপি-এর পরিবর্তন (ΔH)-এর মান অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন ΔE চেয়ে কম হবে অর্থাৎ **$\Delta H < \Delta E$** হবে। যেমন, $N_2\ (g) + 3H_2\ (g) = 2NH_3\ (g)$ $\quad \Delta n_g = (2 - 4) = -2$

দেখা গেল গ্যাসীয় বিক্রিয়াগুলিতে **ΔH এবং ΔE এর মধ্যে পার্থক্য নির্ভর করে Δn_g-এর মানের উপর।**

(1) $\Delta n_g = 0$ হলে $\Delta H = \Delta E$ হয়, (2) $\Delta n_g = +ve$ হলে, $\Delta H > \Delta E$ হয়, (3) $\Delta n_g = -ve$ হলে $\Delta H < \Delta E$ হয়।

স্থির আয়তনে বিক্রিয়ার এনথ্যালপি (ΔH_v) = স্থির আয়তন ও উষ্ণতায় একটি প্রক্রিয়ার মোট অভ্যন্তরীণ শক্তির বৃদ্ধি।

স্থির চাপে বিক্রিয়ার এনথ্যালপি (ΔH_p) = স্থির চাপ ও উষ্ণতায় একটি প্রক্রিয়ায় মোট এনথ্যালপির বৃদ্ধি।

● **প্রমাণ অবস্থা ঃ** বিক্রিয়ার এনথ্যালপি বা বিক্রিয়া-তাপ কতকগুলি বিষয়ের উপর নির্ভর করে যেমন, আয়তন, চাপ, উষ্ণতা, রূপভেদ এবং বিক্রিয়ক ও বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলির ভৌত অবস্থা। পরীক্ষায় প্রাপ্ত এনথ্যালপির মানকে অবশ্যই প্রমাণ অবস্থায় প্রকাশ করতে হয়। প্রচলিত প্রমাণ অবস্থাগুলি হল—(i) **প্রমাণ উষ্ণতা 25°C বা 298 K** (ii) **প্রমাণ চাপ = 1 atm** (iii) **প্রমাণ অবস্থায় কোনো মৌল গঠনে এনথ্যালপির পরিবর্তন = শূন্য বলে ধরা হয়।**

যখন বিক্রিয়ক এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলি তাদের প্রমাণ অবস্থায় থাকে, মোলার এনথ্যালপিকে **প্রমাণ বিক্রিয়া-তাপ** বা **প্রমাণ এনথ্যালপি** বলা হয় এবং ΔH° প্রতীক দ্বারা প্রকাশ করা হয় বা $\Delta H^\circ = \Delta H$ (298 K উষ্ণতায় এবং 1 atm চাপে)।

3.4. হেসের সূত্র এবং তার প্রয়োগ [Hess's law and its applications]

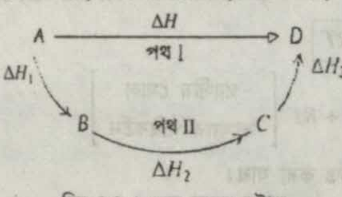
বহু গবেষণার পর বিজ্ঞানী হেস প্রমাণ করেন, কোনো নির্দিষ্ট বিক্রিয়ার প্রারম্ভিক এবং অন্তিম পদার্থগুলির প্রকৃতি অপরিবর্তিত থাকলে, রাসায়নিক পরিবর্তনে মুক্ত বা শোষিত তাপের পরিমাণ, বিক্রিয়ার হার অথবা মধ্যবর্তী উৎপন্ন যৌগগুলির প্রকৃতির উপর নির্ভর করে না। তিনি এই তথ্যটি সূত্রের আকারে প্রকাশ করেন।

হেসের সূত্র ঃ প্রারম্ভিক এবং অন্তিম অবস্থা সবক্ষেত্রে এক থাকলে, কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়াকে একটি ধাপে অথবা মধ্যবর্তী একাধিক ধাপে সম্পন্ন করা হলে, সব ক্ষেত্রেই মুক্ত বা শোষিত তাপের মোট পরিমাণ সর্বদা সমান হবে।

অন্যভাবে বলা যায়—**কোনো নির্দিষ্ট বিক্রিয়ায় এনথ্যালপির পরিবর্তন সর্বদা স্থির থাকে—কোন্ পথে বিক্রিয়াটিকে ঘটানো হল তার উপর নির্ভর করে না।**

অর্থাৎ একটি বিক্রিয়াকে এক ধাপে বা একাধিক ধাপে ঘটালেও মুক্ত বা শোষিত তাপের পরিমাণ সর্বদা একই হয়।

যেমন ধরি, একটি বিক্রিয়ায়, বিক্রিয়ক A, এক ধাপে বিক্রিয়াজাত পদার্থ D-তে পরিণত হয়েছে এবং এই পরিবর্তনের এনথ্যালপির পরিবর্তন = ΔH হয়। এখন ধরি বিক্রিয়াটিকে তিনটি ধাপে সম্পন্ন করা হল।



চিত্র 3.2 ঃ হেস সূত্রের দৃষ্টান্ত

(i) বিক্রিয়ক A প্রথম ধাপে B-তে পরিণত হল। প্রথম ধাপের এই পরিবর্তনে এনথ্যালপির পরিবর্তন = ΔH_1 হয়।

(ii) দ্বিতীয় ধাপে B, C তে পরিণত হল। এই দ্বিতীয় ধাপের পরিবর্তনে এনথ্যালপির পরিবর্তন = ΔH_2 হয়।

(iii) তৃতীয় ধাপে C, D তে পরিণত হল। তৃতীয় ধাপের পরিবর্তনে এনথ্যালপির পরিবর্তন = ΔH_3 হয়।

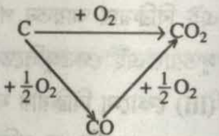
তাহলে হেসের সূত্রানুযায়ী, $\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3$ হবে।

● **হেস সূত্রের উদাহরণ ঃ** কার্বন এবং অক্সিজেনের বিক্রিয়া দ্বারা CO_2 প্রস্তুতির ক্ষেত্রে, কার্বন দুরকম পদ্ধতি দ্বারা CO_2-তে পরিণত হতে পারে—

পথ নং I. $C(s) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g) \quad \Delta H = -393{\cdot}5$ kJ

পথ নং II $\begin{cases} C(s) + {}^1/_2O_2(g) \rightarrow CO(g) & \Delta H = -110{\cdot}5 \text{ kJ} \\ CO(g) + {}^1/_2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) & \Delta H = -283{\cdot}0 \text{ kJ} \end{cases}$

$C(s) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g) \quad \Delta H = -393{\cdot}5$ kJ



দ্বিতীয় পথে দেখা গেল কার্বনের দহনে প্রথমে CO উৎপন্ন করে, উৎপন্ন CO-এর আবার দহনে CO_2 উৎপন্ন করে। এই দুই ধাপে উৎপন্ন তাপের সমষ্টি, পথ I অর্থাৎ কার্বনের সরাসরি CO_2 তে পরিণত হওয়ার দহন তাপের সমান হয়।

● **হেস সূত্রের প্রয়োগ ঃ (1)** হেস সূত্রের সত্যতার জন্য, একটি অভিষ্ট রাসায়নিক সমীকরণ গঠন করার উদ্দেশ্যে অন্যান্য তাপ রাসায়নিক সমীকরণগুলিকে বীজগাণিতিক সমীকরণের মতো সুবিধামত যোগ, বিয়োগ, গুণ, পার্শ্ব পরিবর্তন বা অপনয়ন ইত্যাদি সাধারণ প্রক্রিয়াগুলি সম্পন্ন করা যায়।

(2) বিক্রিয়ার মন্থরতা অথবা বিক্রিয়ার অসম্পূর্ণতার জন্য যে রাসায়নিক পরিবর্তনগুলির বিক্রিয়া-তাপ, পরীক্ষার সাহায্যে সরাসরি নির্ণয় করা যায় না, সেই বিক্রিয়াগুলির ক্ষেত্রে হেস সূত্র প্রয়োগ করে পরোক্ষভাবে বিক্রিয়া তাপ নির্ণয় করা যায়।

অনেক যৌগ আছে, যেমন মিথেন, CO, বেঞ্জিন ইত্যাদি, যেগুলিকে ওদের উপাদান মৌলগুলি থেকে সরাসরি প্রস্তুত করা যায় না। তাই এই যৌগগুলির গঠনতাপ ক্যালরিমিটারের সাহায্যে নির্ণয় করা যায় না। এই যৌগগুলির গঠন-তাপ হেস সূত্রের প্রয়োগে পরোক্ষভাবে নির্ণয় করা হয়। নীচে উদাহরণের সাহায্যে ব্যাপারটি বোঝানো হল।

উদাহরণ ঃ প্রদত্ত বিক্রিয়া থেকে বেঞ্জিনের গঠন তাপ নির্ণয় করো, $6C(s) + 3H_2(g) \rightarrow C_6H_6(l)$

বেঞ্জিনের প্রমাণ দহন তাপ = – 3268·0 kJ এবং $CO_2(g)$ ও $3H_2O(l)$ এর প্রমাণ গঠনতাপ হল যথাক্রমে –393·5 kJ এবং –285·8 kJ.

এখানে, প্রয়োজনীয় সমীকরণটি হল— (i) $6C(s) + 3H_2(g) \rightarrow C_6H_6(l) \quad \Delta H = ?$

এক্ষেত্রে অন্যান্য প্রয়োজনীয় সমীকরণগুলি হল—

(ii) $C_6H_6(l) + 7\frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow 6CO_2(g) + 3H_2O(l) \quad \Delta H = -3268{\cdot}0$ kJ

(iii) $C(s) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g) \quad \Delta H = -393{\cdot}5$ kJ

(iv) $H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow H_2O(l) \quad \Delta H = -285{\cdot}8$ kJ

এখন সমীকরণ (iii) কে 6 দ্বারা এবং (iv) কে 3 দ্বারা গুণ করে যোগ করা হল—

(iii) × 6 $\quad 6C(s) + 6O_2(g) \rightarrow 6CO_2(g) \quad \Delta H = -2361{\cdot}0$ kJ

(iv) × 3 $\quad 3H_2(g) + {}^3/_2O_2(g) \rightarrow 3H_2O(l) \quad \Delta H = -857{\cdot}4$ kJ

(v) $\quad 6C(s) + 3H_2(g) + 7\frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow 6CO_2(g) + 3H_2O(l) \quad \Delta H = -3218{\cdot}4$ kJ

(v) থেকে (ii) সমীকরণ বিয়োগ করে—

$$6C(s) + 3H_2(g) + 7\frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow 6CO_2(g) + 3H_2O(l) \quad \Delta H = -3218{\cdot}4 \text{ kJ}$$

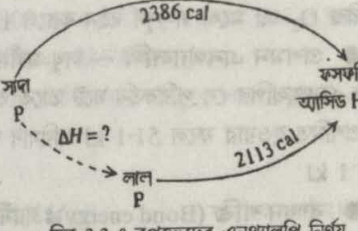
$$C_6H_6(l) + 7\frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow 6CO_2(g) + 3H_2O(l) \quad \Delta H = -3268{\cdot}0 \text{ kJ}$$

$$6C(s) + 3H_2(g) \rightarrow C_6H_6(l) \quad \Delta H = +49{\cdot}6 \text{ kJ}$$

$\therefore$ **বেঞ্জিনের গঠন এনথ্যালপি = ΔH = + 49·6 kJ**

(3) হেসের সূত্রের সাহায্যে একটি বহুরূপী মৌলের এক রূপভেদকে অপর একটি রূপভেদে রূপান্তরিতকরণের এনথ্যালপি নির্ণয় করা যায়, যা প্রত্যক্ষ পরিমাপ দ্বারা নির্ণয় করা সম্ভব নয়।

সাদা ফসফরাস থেকে লাল ফসফরাসে রূপান্তরিত হওয়ার জন্য রূপান্তর-তাপ সরাসরি পরিমাপ করা সম্ভব না হলেও পরীক্ষা দ্বারা দেখা গেছে এক গ্রামমোল সাদা P-এর জারণ দ্বারা ফসফরিক অ্যাসিড উৎপন্নে 2386 cal তাপ মুক্ত হয়। আবার লাল P থেকে ফসফরিক অ্যাসিড উৎপন্নে 2113 cal তাপ মুক্ত হয়।



চিত্র 3.3 ঃ রূপভেদের এনথ্যালপি নির্ণয়

সুতরাং হেস সূত্র থেকে পরিষ্কার জানা যায়, উপরের দুটি বিক্রিয়া তাপের বিয়োগফলই হল সাদা P থেকে লাল P তে পরিবর্তনের রূপান্তর-তাপ অর্থাৎ (2386 – 2113) = 273 cal.

উদাহরণ—হীরক এবং গ্রাফাইটের দহন তাপ যথাক্রমে – 395·4 kJ এবং – 393·5 kJ. হীরক থেকে গ্রাফাইটে রূপান্তরিত-করণে রূপান্তর-তাপ নির্ণয় করো।

Ans. দহনের এনথ্যালপিগুলি নীচে দেখানো হল—

(i) C (হীরক) + $O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$ $\Delta H = -395{\cdot}4$ kJ

(ii) C (গ্রাফাইট)+ $O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$ $\Delta H = -393{\cdot}5$ kJ

হীরক থেকে গ্রাফাইটে রূপান্তরিত করার সমীকরণটি হল, C (হীরক) $\rightarrow$ C (গ্রাফাইট) ΔH = ?

এই সমীকরণটি পাওয়া যায় সমীকরণ (i) থেকে (ii) বিয়োগ করে—

C (হীরক) + $O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$ $\Delta H = -395{\cdot}4$ kJ

C (গ্রাফাইট) + $O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$ $\Delta H = -393{\cdot}5$ kJ

C (হীরক) $\rightarrow$ C (গ্রাফাইট) $\Delta H = -1{\cdot}9$ kJ

(4) হেসের সূত্র প্রয়োগ করে **বর্ন-হাবার চক্রের** সাহায্যে কঠিন আয়নীয় যৌগের **ল্যাটিস শক্তি** নির্ণয় করা যায়। **বন্ধন শক্তিও** এই সূত্র প্রয়োগে নির্ণয় করা যায়।

● **বিক্রিয়া তাপ বা বিক্রিয়ার এনথ্যালপি (Heat of reaction or Enthalpy of reaction)ঃ কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ার সমিত সমীকরণ দ্বারা নির্দেশিত বিক্রিয়ক ও বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলির মোল সংখ্যার অনুপাতে বিক্রিয়াটিকে সম্পূর্ণ করলে এনথ্যালপির যে পরিবর্তন ঘটে (বিক্রিয়ায় মুক্ত বা শোষিত তাপের পরিমাণ) তাকে ওই বিক্রিয়ার বিক্রিয়া তাপ বা বিক্রিয়ার এনথ্যালপি বলে।**

যেমন, 1 মোল মিথেনের সঙ্গে 2 মোল অক্সিজেনের বিক্রিয়ায় 1 মোল CO_2 এবং 2 মোল জল উৎপন্নে এনথ্যালপির পরিবর্তন – 890 kJ হয়, অর্থাৎ বিক্রিয়াটি সম্পন্ন হতে 890 kJ পরিমাণ তাপ মুক্ত হয়। এক্ষেত্রে **বিক্রিয়া তাপ বা বিক্রিয়া এনথ্যালপি** = – 890 kJ

$$CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(g) \quad \Delta H = -890 \text{ kJ}$$

বিক্রিয়া তাপ বা এনথ্যালপি ΔH = (বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলির এনথ্যালপি – বিক্রিয়ক পদার্থগুলির এনথ্যালপি)

উপরের বিক্রিয়াটি বিপরীতমুখী হলে ΔH-এর চিহ্ন পরিবর্তিত হয়।

যেমন $\quad CO_2(g) + 2H_2O(g) \rightarrow CH_4(g) + 2O_2(g) \quad \Delta H = +890$ kJ

● **গঠনতাপ বা গঠন এনথ্যালপি (Heat of formation)ঃ উপাদান মৌলগুলি থেকে আদর্শ অবস্থায়, 1 মোল পরিমাণ কোনো যৌগ উৎপন্নে যে পরিমাণ তাপ উদ্ভূত বা শোষিত হয়, তাকে ওই পদার্থের গঠনতাপ বা গঠনের এনথ্যালপি বলে।**

যেমন, $C(s) + O_2(g) = CO_2(g) + 393{\cdot}5$ kJ এখানে CO_2 এর গঠনতাপ $\Delta H_f = -393{\cdot}5$ kJ

এই বিক্রিয়াটির দ্বারা বোঝায় যে প্রমাণ অবস্থায়, উপাদান মৌল C এবং O_2 থেকে 1 মোল CO_2 উৎপন্নে 393 kJ পরিমাণ তাপ মুক্ত হয়।

সব মৌলের গঠনতাপ বা গঠন এনথ্যালপিকে শূন্য ধরা হয়। অর্থাৎ মৌলের গঠনতাপ = $\Delta H_f = 0$

● **দহন-তাপ বা দহন এনথ্যালপি (Heat of combustion) : 1 মোল পরিমাণ কোনো পদার্থকে অতিরিক্ত অক্সিজেনে সম্পূর্ণ দহন করলে যে পরিমাণ তাপ উদ্ভুত হয় তাকে পদার্থটির দহনতাপ (ΔH_c) বলে।**

যেমন, $C_2H_5OH + 3O_2 \rightarrow 2CO_2 + 3H_2O$ $\Delta H_c = -1367{\cdot}4$ kJ-এর দ্বারা বোঝায় যে, এক মোল ইথানলকে অতিরিক্ত O_2-এর মধ্যে সম্পূর্ণ দহন করলে $1367{\cdot}4$ kJ পরিমাণ তাপ মুক্ত হয়।

● **প্রশমন এনথ্যালপি** — লঘু জলীয় দ্রবণের মাধ্যমে, এক গ্রাম-তুল্যাঙ্ক পরিমাণ অ্যাসিডকে, ক্ষারক দ্বারা প্রশমিত করতে এনথ্যালপির যে পরিবর্তন ঘটে তাকে ওই অ্যাসিডের প্রশমন এনথ্যালপি বলে। যেমন 1 গ্রাম তুল্যাঙ্ক HCl, NaOH দ্বারা প্রশমিত হওয়ার ফলে $51{\cdot}1$ kJ পরিমাণ তাপ মুক্ত হয়। $NaOH + HCl \rightarrow NaCl + H_2O$ $\Delta H = -57{\cdot}1$ kJ

● **বন্ধন শক্তি (Bond energy) : গ্যাসীয় অবস্থায় থাকা বিচ্ছিন্ন পরমাণুগুলি থেকে এক মোল বন্ধন গঠনে যে পরিমাণ শক্তি মুক্ত হয় তাকে বন্ধন শক্তি বলে। অথবা, গ্যাসীয় অবস্থায় থাকা অণুগুলির মধ্যস্থ পরমাণুগুলির মধ্যে উপস্থিত এক মোল বন্ধনকে ছিন্ন করতে যে পরিমাণ শক্তির প্রয়োজন হয় তাকে বন্ধন বিয়োজন শক্তি বলে।**

দ্বিপরমাণুক অণুগুলির ক্ষেত্রে (Cl_2, H_2, O_2, N_2, HCl), **বন্ধন শক্তি ওদের বন্ধন বিয়োজন শক্তির সমান হয়।** যেমন, এক মোল হাইড্রোজেন অণুর মধ্যস্থ (H—H) বন্ধনগুলিকে বিয়োজিত করতে 433 kJ পরিমাণ শক্তির প্রয়োজন হয় :

ঘটনাটিকে এইভাবে প্রকাশ করা হয়—$H_2(g) \rightarrow 2H(g)$ $\Delta H = +433$ kJ mol^{-1}

ΔH-এর পজিটিভ মান দ্বারা বোঝায় যে, বন্ধন ছিন্ন করার প্রক্রিয়াটি হল তাপগ্রাহী প্রক্রিয়া।

দ্বিপরমাণুক গ্যাসীয় অণুর বন্ধন শক্তি বা বন্ধন বিয়োজন শক্তি হেস সূত্র প্রয়োগ করে নির্ণয় করা যায়।

যেমন, HCl অণুর ক্ষেত্রে $HCl(g) \rightarrow H(g) + Cl(g)$

এখানে, $HCl(g)$, $H(g)$ এবং $Cl(g)$ এর গঠন এনথ্যালপি হল যথাক্রমে $-92{\cdot}2$ kJ mol^{-1}, $217{\cdot}7$ kJ mol^{-1} এবং $121{\cdot}4$ kJ mol^{-1}.

$\Delta H^0 = \Sigma\Delta H_f^0$ (বিক্রিয়াজাত পদার্থ) $- \Sigma\Delta H_f^0$ (বিক্রিয়ক পদার্থ) $= \Sigma[\Delta H_f^0 H(g) + \Delta H_f^0 Cl(g)] - \Delta H_f^0 HCl(g)$

$= [(217{\cdot}7 + 121{\cdot}4) - (-92{\cdot}2)] = 431{\cdot}3$ kJ mol^{-1}

গ্যাসীয় HCl-এর বন্ধন বিয়োজন শক্তি = $431{\cdot}3$ kJ mol^{-1}

বহু পরমাণুক অণুগুলির ক্ষেত্রে—(যার মধ্যে একই প্রকার একের বেশি সংখ্যক বন্ধন উপস্থিত) বন্ধনগুলির গড়কে, বন্ধন বিয়োজন শক্তি বলে ধরা হয়। যেমন CH_4 অণুর C—H বন্ধনগুলির পরপর বন্ধন বিয়োজন শক্তিগুলি নীচে দেওয়া হল—

$H_3C—H(g) \rightarrow CH_3(g) + H(g)$ $\Delta H = 425$ kJ mol^{-1}

$H_2C—H(g) \rightarrow CH_2(g) + H(g)$ $\Delta H = 470$ kJ mol^{-1}

$HC—H(g) \rightarrow CH(g) + H(g)$ $\Delta H = 416$ kJ mol^{-1}

$C—H \rightarrow C(g) + H(g)$ $\Delta H = 335$ kJ mol^{-1}

এই 4টি বন্ধন বিয়োজন শক্তির গড় অর্থাৎ C—H বন্ধনের বন্ধন শক্তি $= \frac{425+470+416+335}{4} = \frac{1646}{4} = 411{\cdot}5$ kJ mol^{-1}

কোনো গ্যাসীয় অণুর মধ্যস্থ একই ধরনের বন্ধনগুলিকে ছিন্ন করতে যে পরিমাণ গড় শক্তির প্রয়োজন হয় তাকে বন্ধন শক্তি বলে।

রাসায়নিক বিক্রিয়ায় এনথ্যালপি পরিবর্তন নির্ণয়ে বন্ধন শক্তি ব্যবহৃত হয়।

বিক্রিয়ার এনথ্যালপি পরিবর্তন = [বিক্রিয়কগুলির বন্ধন শক্তির সমষ্টি] – [বিক্রিয়াজাত পদার্থের বন্ধন শক্তির সমষ্টি]

যেমন, $H_2(g) + Cl_2(g) \rightarrow 2HCl(g)$

বিক্রিয়াটির এনথ্যালপি পরিবর্তন ΔH = (H—H) বন্ধনশক্তি + (Cl–Cl) বন্ধনশক্তি – 2(H—Cl) বন্ধন শক্তি

H—H, Cl—Cl এবং H—Cl বন্ধনগুলির বন্ধনশক্তির মান বসিয়ে, $\Delta H = 435 + 243 - 2 \times 431 = \mathbf{-184\ kJ\ mol^{-1}}$

● **গাণিতিক উদাহরণ** (Numerical examples) ঃ

(1) 27°C উষ্ণতায় নীচের বিক্রিয়াটির অভ্যন্তরীণ শক্তি ΔE নির্ণয় করো—

$C_2H_4(g) + 3O_2(g) \rightarrow 2CO_2(g) + 2H_2O(l) \quad \Delta H = -337{\cdot}0\ k\ cal, \quad R = 1{\cdot}987\ cal\ deg^{-1}\ mol^{-1}$

Ans. উপরের রূপান্তরে $\Delta n = (2-4) = -2$ যেখানে, Δn = (গ্যাসীয় বিক্রিয়াজাত পদার্থের মোলসংখ্যা) – (গ্যাসীয় বিক্রিয়ক পদার্থের মোল সংখ্যা), বা, $\Delta n = -2$, $T = 273 + 27 = 300$ K.

আমরা জানি $\Delta H = \Delta E + \Delta n\ RT$, মানগুলিকে বসিয়ে, বা, -337000 cal $= \Delta E + (-2) \times 1{\cdot}987 \times 300$

বা, -337000 cal $= \Delta E - 1192{\cdot}2$ বা, $\Delta E = 1192{\cdot}2 - 337000 = \mathbf{-335{\cdot}808}$ **k cal**

(2) 25°C উষ্ণতায় অ্যাসেটিক অ্যাসিডের দহন তাপ নির্ণয় করো, যেখানে, $CH_3COOH(l)$, $CO_2(g)$ এবং $H_2O(l)$-এর গঠন তাপ যথাক্রমে – 116·4, – 94·0 এবং – 68·3 k cal/mol

Ans. $CH_3COOH(l) + 2O_2(g) \rightarrow 2CO_2(g) + 2H_2O(l)$

$\therefore$ দহনতাপ $= [2 \times (-94{\cdot}0) + 2(-68{\cdot}3)] - [-116{\cdot}4 + 0] = \mathbf{-208{\cdot}2\ k\ cal}$ $\because$ মৌলের গঠন তাপ = 0

(3) ইথানল এবং অ্যাসেটিক অ্যাসিড থেকে উৎপন্ন ইথাইল অ্যাসিটেটের গঠন তাপ নির্ণয় করো। দেওয়া আছে, ইথানল, অ্যাসেটিক অ্যাসিড, ইথাইল অ্যাসিটেটের দহন তাপ যথাক্রমে – 34·0 k cal, – 21·0 k cal এবং – 55·4 k cal.

Ans. প্রদত্ত দহন তাপ—(1) $C_2H_5OH(l) + 3O_2(g) \rightarrow 2CO_2(g) + 3H_2O(l) \quad \Delta H = -34$ k cal

(2) $CH_3COOH(l) + 2O_2(g) \rightarrow 2CO_2(g) + 2H_2O(l) \quad \Delta H = -21$ k cal

(3) $CH_3COOC_2H_5(l) + 5O_2(g) \rightarrow 4CO_2(g) + 4H_2O(l) \quad \Delta H = -55{\cdot}4$ k cal

3নং সমীকরণকে উল্টো করে লিখে সবগুলি সমীকরণ যোগ করে পাই

$C_2H_5OH(l) + 3O_2(g) \rightarrow 2CO_2 + 3H_2O \quad \Delta H = -34$ k cal

$CH_3COOH(l) + 2O_2(g) \rightarrow 2CO_2 + 2H_2O \quad \Delta H = -21$ k cal

$4CO_2(g) + 4H_2O(g) \rightarrow CH_3COOC_2H_5(l) + 5O_2 \quad \Delta H = 55{\cdot}4$ k cal

---

$C_2H_5OH(l) + CH_3COOH(l) \rightarrow CH_3COOC_2H_5 + H_2O \quad \Delta H = +0{\cdot}4$ k cal

সুতরাং ইথাইল অ্যাসিটেটের গঠন তাপ = – 0·4 k cal

(4) স্থির আয়তনে 25°C উষ্ণতায় n- হেপ্টেনের দহন তাপ + 1148·93 k cal mol^{-1}. স্থির চাপে শোষিত তাপের পরিমাণ নির্ণয় করো।

Ans. n-হেপ্টেনের দহনের সমীকরণটি হল—

$C_7H_{16}(l) + 11O_2(g) \rightarrow 7CO_2(g) + 8H_2O(l) \quad \Delta H = +1148{\cdot}93$ k cal mol^{-1}

এখানে $\Delta n = (7-11) = -4$, $R = 1{\cdot}987$, $T = 298$ K

আমরা জানি H_p = স্থিরচাপে শোষিত তাপ এবং H_v = স্থির আয়তনে শোষিত তাপ হলে $H_p = H_v + \Delta n\ RT$ হয়। মানগুলি বসিয়ে $H_p = -1148{\cdot}93 + (-4 \times 1{\cdot}987 \times 298) = \mathbf{-1151298{\cdot}5\ cal\ mol^{-1}}$

(5) নীচের তথ্যগুলি থেকে N_2O-এর রেজোন্যান্স শক্তি নির্ণয় করো—

N_2O-এর $\Delta H_f^0 = 82\ kJ\ mol^{-1}$, $N \equiv N$, $N = N$, $O = O$ এবং $N = O$ বন্ধনগুলির বন্ধনশক্তি যথাক্রমে 946, 418, 498 এবং 607 kJ mol^{-1}

Ans. N_2O-এর ΔH_f^0-এর তত্ত্বগত মান নির্ণয়— $N \equiv N(g) + 1/2\ (O = O)\ (g) \rightarrow N = N = O\ (g)$

ΔH_f^0 = [বন্ধনগুলি ভাঙার জন্য প্রয়োজনীয় শক্তি] – [বন্ধনগুলি গঠনের জন্য মুক্ত শক্তি]

$= [\Delta H_{N\equiv N} + 1/2\Delta H_{O=O}] - [\Delta H_{N=N} + \Delta H_{N=O}]$

$= (946 + \frac{1}{2}498) - (418 + 607) = 1195 - 1025 = 170\ kJ\ mol^{-1}$

N_2O-এর H_f^0-এর পরীক্ষালব্ধ মান = 82 kJ mol^{-1}

∴ রেজোন্যান্স শক্তি = [তত্ত্বগতমান] – [পরীক্ষায় প্রাপ্ত মান] = [170 – 82] = 88 kJ mol^{-1}

(6) একটি সিস্টেমের উপর 10 kJ কার্য করায়, সিস্টেম দ্বারা 2 kJ তাপ বর্জিত হয়। সিস্টেমটির অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন নির্ণয় করো।

Ans. এক্ষেত্রে $w = 10$ kJ, বর্জিত তাপ $q = -2$ kJ, আমরা জানি $\Delta E = q + w$

মানগুলি বসিয়ে $\Delta E = -2 + (+10) = 8$ kJ, অর্থাৎ অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধি 8 kJ.

(7) 1 মোল গ্যাসকে 1 atm স্থির চাপের বিরুদ্ধে 2 লিটার থেকে 6 লিটার আয়তন প্রসারণে কী পরিমাণ কার্য করতে হবে? 1 লিটার atm = 101·3 J.

Ans. এখানে $\Delta V = (6-2)$ লি = 4 লি, চাপ $P = 1$ atm. সুতরাং কার্য $w = -P\Delta V = -1 \times 4$ লিটার atm = – 4 লিটার atm = – 4 × 10 × 101·3 J = – 405·2 J.

(8) 27°C উষ্ণতায় সমোষ্ণ এবং প্রত্যাবর্তক প্রক্রিয়ায় কিছু পরিমাণ CO গ্যাসকে 10 মি³ থেকে 20 মি³- এ প্রসারিত করা হল। এই প্রসারণে 4·754 kJ কার্য করা হলে CO গ্যাসের মোল সংখ্যা নির্ণয় করো।

Ans. এখানে $V_1 = 10$ মি³, $V_2 = 20$ মি³, $T = 27 + 273 = 300$ K, এবং কার্য $w = 4·754$ kJ = 4154 J,

আমরা জানি $w = -2·303\, nRT \log V_2/V_1$ মানগুলি বসিয়ে,

বা, 4754 = 2·303 n × 8·314 × 300 log 20/10

বা, 4754 = 1728·98 n বা, n = 2·75 মোল

(9) নীচের বিক্রিয়াটির প্রমাণ এনথ্যালপি পরিবর্তন ΔH^0 এবং প্রমাণ অভ্যন্তরীণ শক্তি পরিবর্তন ΔE^0 নির্ণয় করো।

$$OF_2(g) + H_2O(g) \rightarrow O_2(g) + 2HF(g)$$

দেওয়া আছে $OF_2(g)$, $H_2O(g)$ এবং $HF(g)$ এর গঠন-এনথ্যালপি হল যথাক্রমে + 23, – 241·8, – 268·6 kJ mol^{-1}

Ans. $\Delta H^0 = \Sigma\Delta H_f^0$ (বিক্রিয়াজাত পদার্থ) – $\Sigma\Delta H_f^0$ (বিক্রিয়ক পদার্থ)

$= [0 + 2(-268·6)] - (+23 + (-241·8))$ kJ $= -537·2 + 218·8 =$ **– 318·4 kJ**

ΔE^0 নির্ণয়— $\Delta n = (3-2) = +1$ mol

আমরা জানি $\Delta H^0 = \Delta E^0 - (\Delta n)RT$ বা, $\Delta E^0 = \Delta H^0 + (\Delta n)RT$.

মান বসিয়ে, $\Delta E^0 = -318·4$ kJ +1 (8·314 × 10^{-3} kJ mol^{-1} K^{-1}) × (298 K)

$= -318·4$ kJ + 2·477 kJ = – 315·922 kJ

(10) 298 K তাপমাত্রায় মিথেনের CH_4 দহনে অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তনের মান হল – 885·4 kJ. এনথ্যালপির পরিবর্তনের মান নির্ণয় করো।

Ans. মিথেনের দহনে CO_2 এবং H_2O উৎপন্ন হয়। $CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(l)$

দহন তাপ $\Delta E = -885.4$ kJ = – 885400 J mol^{-1} $T = 298$, $R = 8·314$ J mol^{-1} k^{-1} $\Delta n = 1 - 3 = -2$ mol

আমরা জানি, $\Delta H = \Delta E + \Delta n\, RT$

= – 885400 J mol^{-1} + (– 2 mol) × 8·314 J mol^{-1} K × 298 K

= – 885400 – 4955 = – 890355 J mol^{-1} = 890·355 kJ mol^{-1}

(11) নীচের বিক্রিয়াটির ক্ষেত্রে 25°C উষ্ণতায় স্থির চাপে বিক্রিয়া-তাপ এবং স্থির আয়তনে বিক্রিয়া তাপের পার্থক্য kJ-এ প্রকাশ করো। $2C_6H_6(l) + 15O_2(g) \rightarrow 12CO_2(g) + 6H_2O(l)$

Ans. স্থির চাপে বিক্রিয়া-তাপ (ΔH) এবং স্থির আয়তনে বিক্রিয়া-তাপ (ΔE) এর মধ্যে সম্পর্ক হল $\Delta H = \Delta E + n_g RT$

বা, $\Delta H - \Delta E = n_g RT$ বিক্রিয়াটিতে $n_g = 12 - 15 = -3$ mol, $R = 8·314$ J K^{-1} mol^{-1}, $T = 298$ K

∴ $\Delta H - \Delta E = -3$ mol × 8·314 J K^{-1} mol^{-1} × 298 K = 7432.7 J = **– 7·432 kJ**

(12) বেঞ্জিন, কার্বন ও হাইড্রোজেনের দহন তাপ যথাক্রমে 754·3 k cal 94·38 k cal এবং 68·38 k cal. বেঞ্জিনের গঠন তাপ নির্ণয় করো।

Ans. (i) $C_6H_6 + 15\frac{1}{2}O_2 \rightarrow 6CO_2 + 3H_2O + 754\text{'}3$ k cal

(ii) $C + O_2 \rightarrow CO_2 + 94\text{'}38$ k cal

(iii) $H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O + 68\text{'}38$ k cal

(ii) এবং (iii) নং সমীকরণে দেখা যায় CO_2 এবং H_2O-এর ΔH_f এর মান যথাক্রমে – 94˙38 k cal এবং – 68˙38 k cal এখন (i) নং সমীকরণে মানগুলি বসালে এবং বেঞ্জিনের গঠন তাপকে $\Delta H_{f\ \text{বেঞ্জিন}}$ রূপে বসিয়ে

$\Delta H_{f\ \text{বেঞ্জিন}} + 15\frac{1}{2} \times 0 = 6 \times (-94\text{'}38) + 3 \times (-68\text{'}38)$ k cal + 754˙3 k cal

বা, $\Delta H_{f\ \text{বেঞ্জিন}} = -17\text{'}12$ k cal ∴ বেঞ্জিনের গঠনতাপ $\Delta H_{f\ \text{বেঞ্জিন}} = -17\text{'}12$ **k cal.**

(13) 298 K উষ্ণতায় নীচের বিক্রিয়াটির এনথ্যালপির পরিবর্তন (ΔH) – 92˙38 kJ হলে 298 K উষ্ণতায় অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন (ΔE) নির্ণয় করো। $N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$

Ans. আমরা জানি $\Delta H = \Delta E + \Delta n_g RT$ উপরের বিক্রিয়াটির ক্ষেত্রে

$T = 298$ K, $\Delta n_g = 2 - (1 + 3) = -2$ mol; $R = 8\text{'}314$ J K^{-1} mol^{-1}

$\Delta H = -92\text{'}38$ kJ = – 92380 J

সুতরাং – 92390 J = $\Delta E + (-2 \text{ mol}) \times (8\text{'}314 \text{ J K}^{-1} \text{mol}^{-1}) \times 298$ K

বা, – 92380 J = ΔE – 4955 বা, ΔE = (4955 – 92380) J

বা, ΔE = – 87425 J.

(14) নীচে প্রদত্ত দহন-এনথ্যালপির প্রমাণ মানগুলি ব্যবহার করে 25°C উষ্ণতায় $C_3H_8(g) + H_2(g) \rightarrow C_2H_6(g) + CH_4(g)$ বিক্রিয়াটির বিক্রিয়া-এনথ্যালপি নির্ণয় করো।

যৌগ →	$H_2(g)$	$CH_4(g)$	$C_2H_6(g)$	*C (গ্রাফাইট)*
ΔH kJ mol⁻¹ →	*–285˙8*	*890*	*1560˙0*	*–393˙5*

$C_3H_8(g)$-এর প্রমাণ গঠন এনথ্যালপি = 103˙6 kJ mol^{-1}

Ans. নীচের রাসায়নিক বিক্রিয়াগুলির দহন এনথ্যালপির তথ্য থেকে $C_3H_8(g) + H_2(g) \rightarrow C_2H_6(g) + C_2H_4(g)$ এই ইপ্সিত সমীকরণটি গঠন করা যাবে।

(i) $C_3H_8(g) \rightarrow 3C(s) + 4H_2(g)$ $\Delta H = 103\text{'}8$ kJ

(ii) $5H_2(g) + {}^5/_2O_2(g) \rightarrow 5H_2O(l)$ $\Delta H = 5(-285\text{'}8)$ kJ

(iii) $2CO_2(g) + 3H_2O(l) \rightarrow C_2H_6(s) + 7/2O_2(g)$ $\Delta H = 1560$ kJ

(iv) $CO_2(g) + 2H_2O(l) \rightarrow CH_4(g) + 2O_2(g)$ $\Delta H = 890$ kJ

(v) $3C(s) + 3O_2(g) \rightarrow 3CO_2(g)$ $\Delta H = 3(-393\text{'}5)$ kJ

সমীকরণগুলি যোগ করে পাই—$C_3H_8(g) + H_2(g) \rightarrow C_2H_6(g) + CH_4(g)$

$\Delta H = 103\text{'}8 + 5(-285\text{'}8) + 1560 + 890 + 3(-393\text{'}5) =$ **–55˙7 kJ mol^{-1}**

● **রাসায়নিক তাপগতিবিদ্যা সম্পর্কিত কয়েকটি প্রাথমিক ধারণা** (Some basic terms and concepts regarding chemical thermodynamics) ঃ

(1) সিস্টেম (System) ঃ তাপগতি বিদ্যায় সিস্টেম বলতে মহাবিশ্বের একটি নির্দিষ্ট অংশ বোঝায়, যাকে পরীক্ষা নিরীক্ষা করার জন্য নির্বাচিত করা হয়েছে।

(2) পরিবেশ ও সীমাতল (Environment and boundary) ঃ সিস্টেম ছাড়া মহাবিশ্বের অবশিষ্ট অংশকে পরিবেশ বলা হয়। যে তল সিস্টেমকে পরিবেশ থেকে পৃথক করে তাকে সীমাতল বলে।

(3) সিস্টেমের শ্রেণি বিভাগ ঃ সিস্টেমকে তিনটি শ্রেণিতে ভাগ করা হয়েছে—

(*a*) **মুক্ত সিস্টেম** (Open system) ঃ যে সিস্টেমে, সিস্টেম ও পরিবেশের মধ্যে ভর ও শক্তির আদান-প্রদান হয়, তাকে মুক্ত সিস্টেম বলে। যেমন, স্টেইনলেস স্টিলের গ্লাসে রাখা গরম চা। এক্ষেত্রে উপরের খোলা মুখ দিয়ে গরম চা থেকে কিছু

পরিমাণ বাষ্প (ভর) পরিবেশে চলে যেতে থাকে। আবার, উপরের খোলা মুখ দিয়ে এবং গ্লাসের পরিবাহী দেয়ালের মাধ্যমে কিছু তাপশক্তি পরিবেশে যেতে থাকে।



চিত্র 3.4

(*b*) **বদ্ধ সিস্টেম (Closed system)** ঃ যে সিস্টেমে পরিবেশের সঙ্গে শক্তির আদান-প্রদান হলেও ভরের কোনো আদান-প্রদান হয় না, তাকে বদ্ধ সিস্টেম বলে। যেমন ঢাকনা দেওয়া স্টিলের পাত্রে রাখা গরম চা। এক্ষেত্রে তাপের পরিবাহী স্টিলের দেয়ালের মাধ্যমে গরম চায়ের তাপ পরিবেশে চলে যায়। কিন্তু ঢাকনা দেওয়া থাকায় গরম চা থেকে বাষ্প অর্থাৎ ভর পরিবেশে যেতে পারে না। **বদ্ধ সিস্টেমে ভর স্থির থাকলেও শক্তি স্থির থাকে না।**

(*c*) **বিচ্ছিন্ন সিস্টেম (Isolated system)** ঃ যে সিস্টেমে পরিবেশের সঙ্গে ভর অথবা শক্তির আদান-প্রদান একেবারেই হয় না তাকে বিচ্ছিন্ন সিস্টেম বলে। যেমন, একটি থার্মোফ্লাস্কের মধ্যে রাখা গরম চা। ঢাকনা দেওয়া থার্মোফ্লাস্কের মধ্যে রাখা গরম চা থেকে তাপশক্তি বা ভর পরিবেশে একেবারেই যেতে পারে না বা পরিবেশ থেকে থার্মোফ্লাস্কের মধ্যে ঢুকতে পারে না। **এই জাতীয় সিস্টেমের ভর এবং শক্তি স্থির থাকে।**

(4) সমোষ্ণ প্রক্রিয়া (Isothermal process) ঃ যে প্রক্রিয়ায় সিস্টেমের উষ্ণতা স্থির রাখা হয় তাকে সমোষ্ণ প্রক্রিয়া বলে। এই প্রক্রিয়ায় উষ্ণতা স্থির রাখা হয় বলে, পরিবেশ থেকে সিস্টেমে তাপশক্তি যায়, অথবা সিস্টেম থেকে তাপশক্তি পরিবেশে যায়। **এই প্রক্রিয়ায় অভ্যন্তরীণ শক্তির কোনো পরিবর্তন হয় না, সুতরাং যেটুকু তাপ শোষিত হয়, তার সবটুকুই কার্যে রূপান্তরিত হয় অথবা সিস্টেমের উপর কিছু কার্য করা হলে সমপরিমাণ তাপশক্তি বর্জিত হয়।**

(5) রুদ্ধতাপ প্রক্রিয়া (Adiabatic process) ঃ যে পদ্ধতিতে সিস্টেম ও পরিবেশের মধ্যে তাপশক্তির আদান-প্রদান একেবারেই হয় না, তাকে রুদ্ধতাপ প্রক্রিয়া বলে। **এই প্রক্রিয়ায় সিস্টেমের উষ্ণতা সর্বদা পরিবর্তিত হয়।** এই প্রক্রিয়ায় সিস্টেম কার্য করে অভ্যন্তরীণ শক্তির বিনিময়ে। যেমন, গ্যাস ভর্তি বেলুন হঠাৎ ফেটে গেলে গ্যাসের রুদ্ধতাপীয় প্রসারণ হয়—এই কার্যের ফলে অভ্যন্তরীণ শক্তি কমে যায়, তাই গ্যাসটি ঠান্ডা হয়ে যায় এবং উষ্ণতা কমে যায়। আবার টায়ারে পাম্প করে বাতাস ভর্তি করার সময় রুদ্ধতাপীয় সঙ্কোচন হয়, ফলে অভ্যন্তরীণ শক্তি বেড়ে যাওয়ায় উষ্ণতা বাড়ে।

(6) (*a*) **স্থির আয়তন প্রক্রিয়া (Isochoric process)** ঃ যে প্রক্রিয়ায় সিস্টেমের আয়তন স্থির রাখা হয়, তাকে স্থির আয়তন প্রক্রিয়া বলে।

(*b*) **স্থিরচাপ প্রক্রিয়া (Isobaric process)** ঃ যে প্রক্রিয়ায় সিস্টেমের চাপ স্থির রাখা হয় তাকে স্থিরচাপ প্রক্রিয়া বলে।

(7) প্রত্যাবর্তক প্রক্রিয়া (Reversible process) ঃ যে প্রক্রিয়ায়, যে কোনো সিস্টেমের উষ্ণতা, চাপ, আয়তন ইত্যাদির পরিবর্তন করে প্রক্রিয়াটির অভিমুখ পরিবর্তিত করা যায়, তাকে প্রত্যাবর্তক প্রক্রিয়া বলা হয়। প্রত্যাবর্তক প্রক্রিয়ার মধ্যবর্তী সব পর্যায়েই সাম্যাবস্থা বজায় থাকে, অর্থাৎ প্রত্যাবর্তক প্রক্রিয়া সর্বদা সাম্যাবস্থা সূচক গতিপথ অনুসরণ করে। প্রত্যাবর্তক প্রক্রিয়াগুলি খুব ধীর গতিতে ঘটতে থাকে, কারণ এই জাতীয় প্রক্রিয়ার চালক বলের মান খুবই কম—প্রায় নেই বললেই চলে। অপ্রত্যাবর্তক প্রক্রিয়ার চেয়ে প্রত্যাবর্তক প্রক্রিয়ায় বেশি পরিমাণ কার্য পাওয়া যায়।

(8) অপ্রত্যাবর্তক প্রক্রিয়া (Irreversible process) ঃ যে প্রক্রিয়া উভমুখী নয় অর্থাৎ যে প্রক্রিয়া সাম্যাবস্থাসূচক গতিপথ অনুসরণ করে না তাকে অপ্রত্যাবর্তক প্রক্রিয়া বলে। এই প্রক্রিয়া দ্রুত গতিতে ঘটতে থাকে কারণ এই প্রক্রিয়ায় চালকবলের মান বেশি। তাই সব স্বতঃস্ফূর্ত প্রক্রিয়া অপ্রত্যাবর্তক প্রকৃতির হতে দেখা যায়।

(9) সাইক্লিক প্রক্রিয়া (Cyclic process) ঃ যদি কোনো তাপগতীয় সিস্টেম কতকগুলি প্রক্রিয়ার মাধ্যমে আবার প্রারম্ভিক অবস্থায় ফিরে আসে, তাহলে প্রক্রিয়াটিকে সাইক্লিক প্রক্রিয়া বলা হয়।

(10) অবস্থাগত ধর্ম (Intensive properties) ঃ যে ভৌত ধর্মগুলির মান যেমন উষ্ণতা, ঘনত্ব, প্রতিসরাঙ্ক ইত্যাদি, পদার্থটির পরিমাণ বা ভরের উপর নির্ভর করে না, সেই ধর্মগুলিকে অবস্থাগত বা স্থির ধর্ম বলা হয়। যেমন 4°C উষ্ণতায় 10 g জলের ঘনত্ব 1 g/cm^3 হলে, 10 কিলোগ্রাম জলের ক্ষেত্রেও দেখা যায় জলের ঘনত্ব 1 g/cm^3।

কোনো সিস্টেমের যে চলরাশিগুলি ভরের উপর নির্ভর করে না, সেই চলরাশিগুলিকে অবস্থাগত চলরাশি বলা হয়। যেমন, উষ্ণতা, চাপ, প্রতিসরাঙ্ক ইত্যাদি হল অবস্থাগত চলরাশি।

(11) পরিমাণগত ধর্ম (Extensive properties) ঃ পদার্থের যে ধর্মগুলির মান পদার্থটির পরিমাণ বা ভরের সমানুপাতিক হয়, সেই ধর্মগুলিকে পদার্থের পরিমাণগত ধর্ম বলে। যেমন পদার্থের আয়তন, অভ্যন্তরীণ শক্তি ইত্যাদি হল পদার্থের পরিমাণগত ধর্ম।

কোনো সিস্টেমের যে চলরাশিগুলি ভরের উপর নির্ভর করে, সেই চলরাশিগুলিকে পরিমাণগত চলরাশি বলা হয়। যেমন অভ্যন্তরীণ শক্তি, আয়তন, এনট্রপি ইত্যাদি হল পরিমাণগত চলরাশি।

● **তাপ ও কার্যের ধারণা (Concept of Heat and Work) ঃ**

একটি সিস্টেমের শক্তি অনেক উপায়ে বাড়তে পারে অথবা কমতে পারে—দুটি সাধারণ উপায় হল তাপ এবং কার্য।

তাপ (Heat) ঃ তাপ হল শক্তির একটি রূপ যাকে সিস্টেম পরিবেশের সঙ্গে আদান-প্রদান করতে পারে যদি সিস্টেম ও পরিবেশের মধ্যে উষ্ণতার পার্থক্য থাকে। তাপ সর্বদাই বেশি উষ্ণতা থেকে অপেক্ষাকৃত কম উষ্ণতায় প্রবাহিত হয়। তাপকে q অক্ষরদ্বারা প্রকাশ করা হয়। সিস্টেম দ্বারা তাপ শোষিত হলে, সেই তাপকে পজিটিভ ($+q$) তাপ রূপে প্রকাশ করা হয়, আর সিস্টেম দ্বারা তাপ বর্জিত হলে, ওই তাপকে নেগেটিভ ($-q$) তাপ রূপে প্রকাশ করা হয়।

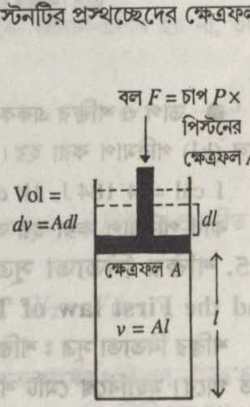
কার্য (Work) ঃ কোনো বস্তুর উপর বল প্রয়োগ করলে, যদি বলের প্রয়োগ বিন্দুর সরণ হয়, কেবল তখনই কার্য করা হয়। কার্য পরিমাপ করা হয় বস্তুটির উপর প্রযুক্ত বল এবং বলের অভিমুখে বলের প্রয়োগ বিন্দুর সরণের গুণফল দ্বারা।

অর্থাৎ, কার্য = বল × সরণ

● **চাপ-আয়তন কার্য (Pressure-Volume work) ঃ বাহ্যিক চাপের বিরুদ্ধে, কোনো নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের আয়তন বাড়লে বা কমলে যে পরিমাণ কার্য করা হয় তাকে চাপ-আয়তন কার্য বলে।**

ধরা যাক, একটি সিলিন্ডারের মধ্যে একটি ভারহীন ও ঘর্ষণমুক্ত পিস্টন ফিট করা আছে। পিস্টনটির প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল = A, সিলিন্ডারের মধ্যে V আয়তনের গ্যাস আছে। পিস্টনের উপর প্রযুক্ত চাপ = P

এখন গ্যাসের অভ্যন্তরীণ চাপ যদি বাহ্যিক চাপ P-এর চেয়ে খুব সামান্য বেশি হয়, তাহলে গ্যাসটির আয়তন বাড়বে। এর ফলে, ধরি পিস্টনটি খুব সামান্য দূরত্ব dl অতিক্রম করলো। তাহলে গ্যাসের আয়তন পরিবর্তন $dv = Adl$ হয়।



চিত্র 3.5 ঃ চাপ-আয়তন কার্য

এখন বল = চাপ × ক্ষেত্রফল। সুতরাং পিস্টনে প্রযুক্ত বল $F = P \times A$

এখন পিস্টনের সরণের জন্য সম্পাদিত ক্ষুদ্র কার্য dW হলে, যেহেতু কার্য = বল × সরণ,

সুতরাং $dW = -P \times A \times dl$ হবে। নেগেটিভ চিহ্নদ্বারা বোঝান হয় যে সিস্টেম দ্বারা কার্য করা হয়।

এখন $A \times dl = dV$ গ্যাসটির একটি ক্ষুদ্র আয়তন পরিবর্তন। সুতরাং $dW = -P.\,dV$

যদি সিস্টেমের আয়তন পরিবর্তন V_1 থেকে V_2 হয়, তাহলে সম্পাদিত কার্যের পরিমাণ পাওয়া যাবে, V_1 থেকে V_2 আয়তন পরিবর্তনে PdV-কে ইন্টিগ্রেট করে (যখন P ধ্রুবক)।

মোট কৃত কার্য $W = -\int_{V_1}^{V_2} PdV$ বা, $W = -P(V_2 - V_1) = -P\Delta V \quad \because \Delta V = (V_2 - V_1)$

বা, $W = -P\Delta V$ এখন $P = \frac{nRT}{V}$, সুতরাং P-এর মান বসিয়ে $W = -nRT\frac{dv}{V}$

ইন্টিগ্রেশন করে পাই $W = \int_{V_1}^{V_2} -nRT\frac{dV}{V} = -nRT\ ln\frac{V_2}{V_1}$ বা, **কার্য $W = -2{\cdot}303\ nRT\ log\frac{V_2}{V_1}$** ... ... (3.10)

বাহ্যিক চাপ P, গ্যাসের অভ্যন্তরীণ চাপের চেয়ে খুব সামান্য বেশি হলে, গ্যাসের আয়তন সংকোচন হবে অর্থাৎ পরিবেশ দ্বারা সিস্টেমের উপর কার্য করা হবে। এই অবস্থায় $V_2 < V_1$ হবে এবং ΔV নেগেটিভ হবে। এক্ষেত্রে $W = P\Delta V$ হবে।

*(i) **গ্যাসের প্রসারণ হলে,** $V_2 > V_1$, সিস্টেম দ্বারা কার্য করা হয় এবং W নেগেটিভ (–) হয়।
(ii) **গ্যাসের সংকোচন হলে** $V_2 < V_1$, সিস্টেমের উপর কার্য করা হয় এবং W পজিটিভ (+) হবে।

● **তাপ ও কার্যের চিহ্ন ঃ** (i) সিস্টেমের অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তনের সঙ্গে সম্পর্কযুক্ত হল W এবং q. এখন W বা q পজিটিভ হলে বুঝতে হবে যে সিস্টেমের উপর কার্য (W) করা হয়েছে বা তাপ (q) রূপে কিছু পরিমাণ শক্তি সিস্টেমে যুক্ত হয়েছে। এই অবস্থায় **সিস্টেমের অভ্যন্তরীণ শক্তি বাড়ে।**

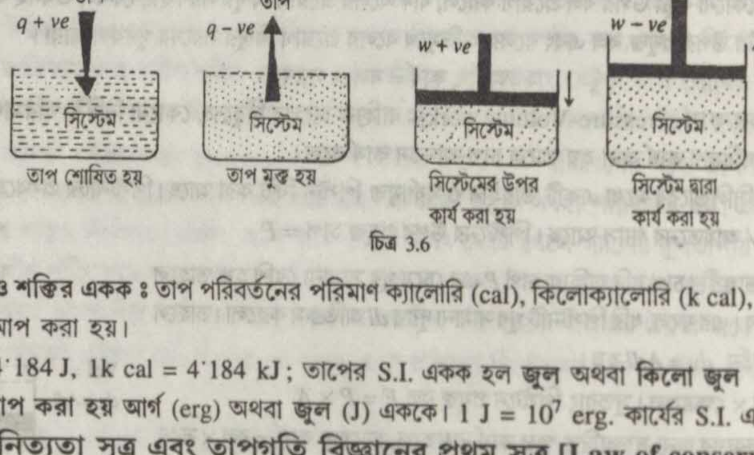
(ii) W বা q নেগেটিভ হলে, বুঝতে হবে যে, সিস্টেম দ্বারা কার্য করা হয়েছে বা তাপ রূপে **কিছু পরিমাণ শক্তি সিস্টেম থেকে বেরিয়ে গেছে।** এই অবস্থায় **সিস্টেমের অভ্যন্তরীণ শক্তি কমে যায়।**

(iii) সিস্টেম দ্বারা তাপ শোষিত হলে, q পজিটিভ হয়, কারণ এক্ষেত্রে সিস্টেমের শক্তি বাড়ে, কিন্তু **সিস্টেম দ্বারা তাপ মুক্ত হলে,** সিস্টেমের শক্তি কমে যায়, তাই q নেগেটিভ হয়।

(iv) যদি সিস্টেমের উপর কার্য করা হয়, তাহলে W পজিটিভ হবে, কারণ এক্ষেত্রে সিস্টেমের শক্তি বাড়ে। কিন্তু সিস্টেম দ্বারা পরিবেশের উপর কার্য করা হলে, যেহেতু শক্তি ব্যয় করে এক্ষেত্রে কার্য করা হয়, তাই **W নেগেটিভ হবে।**

সিস্টেম দ্বারা তাপ শোষিত হলে → q **পজিটিভ**
সিস্টেম দ্বারা তাপ মুক্ত হলে → q **নেগেটিভ**

সিস্টেমের উপর কার্য করা হলে → W **পজিটিভ**
সিস্টেম দ্বারা কার্য করা হলে → W **নেগেটিভ**



চিত্র 3.6

● **তাপ ও শক্তির একক ঃ** তাপ পরিবর্তনের পরিমাণ ক্যালোরি (cal), কিলোক্যালোরি (k cal), জুল (J) অথবা কিলো জুলে (kJ) পরিমাপ করা হয়।

1 cal = 4·184 J, 1k cal = 4·184 kJ ; তাপের S.I. একক হল **জুল** অথবা **কিলো জুল** (kJ)

কার্য পরিমাপ করা হয় আর্গ (erg) অথবা **জুল** (J) এককে। 1 J = 10^7 erg. কার্যের S.I. একক **জুল** (J)।

3.5. শক্তির নিত্যতা সূত্র এবং তাপগতি বিজ্ঞানের প্রথম সূত্র [Law of conservation of energy and the First law of Thermodynamics]

শক্তির নিত্যতা সূত্র ঃ **শক্তির সৃষ্টি বা বিনাশ নেই। শক্তি কেবল এক রূপ থেকে অন্য এক বা একাধিক রূপে রূপান্তরিত হতে পারে। মহাবিশ্বে মোট শক্তির পরিমাণ নির্দিষ্ট এবং অপরিবর্তনীয়।**

সব রকম শক্তি শেষ পর্যন্ত তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হয়।

তাপগতি বিজ্ঞানের প্রথম সূত্রটি হল আসলে শক্তির নিত্যতা সূত্রই—সূত্রটিকে কেবল ভিন্ন রূপে প্রকাশ করা হয়েছে। দুটি সূত্রেরই মূল বক্তব্য হল—শক্তি শাশ্বত, এর সৃষ্টি বা বিনাশ নেই—শক্তি কেবল এক রূপ থেকে ওর তুল্য পরিমাণ অন্য কোনো রূপে রূপান্তরিত হতে পারে। সুতরাং তাপগতি বিজ্ঞানের প্রথম সূত্রটিকে এইভাবে প্রকাশ করা যায়।

তাপগতি বিজ্ঞানের প্রথম সূত্র— (i) **কোনো নির্দিষ্ট বিচ্ছিন্ন সিস্টেমে শক্তির মোট পরিমাণ সর্বদা স্থির থাকে,—সিস্টেমের কোনো পরিবর্তনে, শক্তির এক রূপ অদৃশ্য হলে ওর তুল্য পরিমাণ অপর কোনো রকম শক্তির উদ্ভব হয়।**

(ii) মহাবিশ্বে শক্তির মোট পরিমাণ সর্বদা স্থির থাকে।

(iii) শক্তিকে সৃষ্টি করা যায় না, বা ধ্বংসও করা যায় না।

● **তাপগতি বিজ্ঞানের প্রথম সূত্রের গাণিতিক রূপ**—একটি সম্পর্ক যা তাপ, কার্য এবং শক্তির মধ্যে সম্পর্ক প্রকাশ করে ঃ

কোনো সিস্টেমের অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধি করা যায় দুটি উপায়ে—(i) সিস্টেমে তাপ সরবরাহ করে এবং (ii) সিস্টেমের উপর কার্য করে।

ধরি, একটি সিস্টেমের প্রাথমিক অভ্যন্তরীণ শক্তি = E_1, এখন যদি সিস্টেমটিতে q পরিমাণ তাপ সরবরাহ করা হয়—

$$\boxed{\begin{matrix}\text{অভ্যন্তরীণ শক্তি}\\ E_1\end{matrix}} \xrightarrow{+q} \boxed{\begin{matrix}\text{অভ্যন্তরীণ শক্তি}\\ E_1 + q\end{matrix}} \xrightarrow{+W} \boxed{\begin{matrix}\text{অভ্যন্তরীণ শক্তি}\\ E_1 + q + W\end{matrix}}$$

তাহলে ওর অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধি = $E_1 + q$ হবে। এই অবস্থায় সিস্টেমটির ওপর W পরিমাণ কার্য করা হলে, ওর অভ্যন্তরীণ শক্তি আরও বেড়ে E_2 হল। E_2 হল অন্তিম অবস্থার অভ্যন্তরীণ শক্তি।

তাহলে, $E_2 = E_1 + q + W$ বা, $E_2 - E_1 = q + W$ বা, $\Delta E = q + W$ ... ... (3.11)

এটি হল তাপ গতি বিজ্ঞানের প্রথম সূত্রের গাণিতিক রূপ। (i) এখন যদি কৃত কার্যটি প্রসারণ ঘটিত হয়, এবং বাহ্যিক চাপকে (P) স্থির রাখা হয়, তাহলে, গ্যাসের প্রসারণে সিস্টেম দ্বারা কার্য করা হয় বলে, কৃতকার্য $W = -P\Delta V$ যেখানে ΔV = আয়তন পরিবর্তন।

W-এর এই মানকে (3.11) সমীকরণে বসিয়ে, $\Delta E = q - P\Delta V$ ... ... (3.12)

(ii) আয়তনকে যদি স্থির রাখা হয় তাহলে $\Delta V = 0$, সুতরাং এই অবস্থায় কোনো কার্য সম্পাদিত হয় না, অর্থাৎ $P\Delta V = 0$ হয়। সুতরাং, স্থির আয়তনে $\Delta E = q$ ... ... (3.13)

(iii) **বাহ্যিক চাপ = 0 হলে ঃ এক্ষেত্রে $P = 0$** বা, $P\Delta V = 0$ বা, $dW = 0$

সুতরাং, বাহ্যিক চাপ শূন্য হলে $\Delta E = q$ ... ... (3.14)

এই প্রক্রিয়াকে মুক্ত প্রসারণ বলা হয়।

● **সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় সর্বোচ্চ কার্য**—সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় উষ্ণতা স্থির থাকে, সুতরাং অভ্যন্তরীণ শক্তির কোনো পরিবর্তন হয় না অর্থাৎ $\Delta E = 0$ তাপগতি বিজ্ঞানের প্রথম সূত্র থেকে, $q = \Delta E - W$ যেহেতু $\Delta E = 0$।

সুতরাং, **সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায়, $q = -W$** ... ... (3.15)

সুতরাং সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায়, সিস্টেম দ্বারা শোষিত তাপের সম্পূর্ণটাই সিস্টেমের উপর নেগেটিভ কৃত কার্যের সমান অর্থাৎ সিস্টেম দ্বারা কৃত কার্যের সমান হয়।

● **রুদ্ধতাপ প্রক্রিয়ায়**—রুদ্ধতাপ প্রক্রিয়ায়, যেহেতু পরিবেশের সঙ্গে তাপের কোনো আদান-প্রদান হয় না, তাই $q = 0$ হবে। সুতরাং তাপগতি বিদ্যার প্রথম সূত্রানুসারে—

$q = \Delta E + W$ বা, $0 = \Delta E + W$ বা, $\Delta E = -W$ ... ... (3.16)

সমীকরণ (3.16) থেকে রুদ্ধ তাপ প্রক্রিয়ায় কৃত কার্যের পরিমাপ পাওয়া যায়।

● **গাণিতিক উদাহরণ (Numerical examples) ঃ**

(1) একটি আদর্শ গ্যাস, 25°C উষ্ণতায় 3 atm স্থির চাপে সমোষ্ণ-প্রক্রিয়ায় 1 লিটার থেকে 11 লিটারে প্রসারিত হলে ক্যালোরিতে কৃত কার্যের পরিমাণ নির্ণয় করো। 1 litre-atm = 24·22 cal.

Ans. যেহেতু বাহ্যিক চাপ এক্ষেত্রে স্থির আছে, সুতরাং কার্য $W = -PdV = -P(V_2 - V_1)$

দেওয়া আছে চাপ $P = 3$ atm, $V_2 = 11$ লিটার, $V_1 = 1$ লিটার।

$\therefore W = -3 \times (11 - 1) = -30$ litre–atm $= -30 \times 24{\cdot}22 = -726{\cdot}6$ cal. **সুতরাং কৃত কার্যের পরিমাণ – 726·6 cal.**

(2) সর্বোচ্চ কৃত কার্যের পরিমাণ নির্ণয় করো যখন 64 g অক্সিজেন গ্যাস সমোষ্ণ ও প্রত্যাবর্তক বিক্রিয়ায় 7 L থেকে 14 L প্রসারিত হয়। উষ্ণতা 27°C, $R = 1{\cdot}987$ cal deg^{-1} mol^{-1}.

Ans. আমরা জানি $W_{max} = -2{\cdot}303\, nRT \log V_2/V_1$

এখানে $V_1 = 7$ L, $V_2 = 14$ L, $n = 64/32 = 2$ mol, $T = 273 + 27 = 300$ K

যেহেতু সিস্টেম দ্বারা কার্য করা হয়, সুতরাং $W_{max} = -2{\cdot}303 \times 2 \times 1{\cdot}987 \times 300 \log\frac{14}{7} =$ **– 826·4 cal.**

(3) প্রাথমিক অবস্থায় S.T.P. তে 2 L হাইড্রোজেন গ্যাস সমোষ্ণ এবং প্রত্যাবর্তক প্রক্রিয়ায় প্রসারিত হয়ে 4 L হয়। আর্গ এবং ক্যালোরিতে সম্পাদিত কার্যের পরিমাণ নির্ণয় করো। $R = 2\ cal\ deg^{-1}\ mol^{-1}$.

Ans. H_2 গ্যাসের মোল সংখ্যা = 2/22·4 মোল যেহেতু গ্যাসের প্রসারণ হয়। সুতরাং এক্ষেত্রে সিস্টেম দ্বারা কার্য করা হয়। $\therefore W = -ve$

সমোষ্ণ ও প্রত্যাবর্তক বিক্রিয়ায় n মোল আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে কৃত কার্য $W = -nRT\ 2{\cdot}303 \log\frac{V_2}{V_1}$

এখানে $n = 2/22{\cdot}4$, $R = 2$ cal deg^{-1} mol^{-1}, $T = 273$ K, $V_1 = 2$ L, $V_2 = 4$ L. মানগুলি বসিয়ে

$W = -\frac{2}{22{\cdot}4} \times 2 \times 273 \times 2{\cdot}303 \log \frac{4}{2} = \mathbf{-33{\cdot}8\ cal}$

যেহেতু 1 cal = $4{\cdot}2 \times 10^7$ erg, $\therefore \mathbf{-33{\cdot}8\ cal = -33{\cdot}8 \times 4{\cdot}2 \times 10^7 = -1{\cdot}42 \times 10^9\ erg}$

(4) 2 g হাইড্রোজেন সমোষ্ণ এবং প্রত্যাবর্তক প্রক্রিয়ায় 27°C উষ্ণতায় 2 L থেকে 4 L-এ প্রসারিত হয়। q, w, ΔE এবং ΔH নির্ণয় করো। ধরে নাও গ্যাসটি আদর্শ গ্যাসের মতো ব্যবহার করে।

Ans. হাইড্রোজেনের মোল সংখ্যা = 2/2 = 1 গ্যাসের প্রসারণ হয়, সুতরাং $W = -ve$

(i) সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় $q = -W$ হয়, $\therefore q = -W = -nRT \times 2{\cdot}303 \log V_2/V_1$

বা, $q = -1 \times 8{\cdot}314$ JK^{-1} mol^{-1} $\times 300$ K $\times 2{\cdot}303 \log 4/2$ বা, $q = \mathbf{-1{\cdot}729\ kJ\ mol^{-1}}$

(ii) সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় $\Delta E = 0$

(iii) $\Delta H = \Delta E + \Delta(PV) = \Delta E + \Delta RT$ $\because PV = nRT$ এবং সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় $\Delta E = 0$

বা, $\Delta H = 0 + 0$ যেহেতু R এবং T ধ্রুবক $= 0$

সমোষ্ণ এবং প্রত্যাবর্তক প্রক্রিয়ায় আদর্শ গ্যাসের আয়তন প্রসারণে ΔH এবং ΔE উভয়ই = 0 হয়।

(5) একটি সিস্টেম 400 জুল তাপ শোষণ করে পরিবেশের ওপর 150 জুল কার্য করে। অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন নির্ণয় করো।

Ans. সিস্টেম দ্বারা শোষিত তাপ = 400 জুল অর্থাৎ $q = 400$ J.।

সিস্টেম দ্বারা কৃত কার্য = 150 J অর্থাৎ $W = -150$ J.

তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র থেকে পাই, অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন $\Delta E = q + W = 400 + (-150) = \mathbf{250\ J}$

(6) ঘর্ষণ মুক্ত একটি পিস্টন যুক্ত সিলিন্ডারের মধ্যে স্থির চাপে (1 atm) 2 L আয়তনের একটি গ্যাসের আয়তন বেড়ে 10 L হল। এই প্রক্রিয়ায় গ্যাসটি 500 J তাপ পরিবেশ থেকে শোষণ করে। সিস্টেমের অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন নির্ণয় করো।

Ans. এই প্রক্রিয়ায়, শোষিত তাপ $q = 500$ J, $\Delta V = (10 - 2)$ L = 8 L

চাপ P স্থির = 1 atm, কৃত কার্য $W = -P\Delta V = -1 \times 8 = -8$ L atm.

1 L-atm = 101·3 J $\therefore$ কার্য $W = -8 \times 101{\cdot}3 = \mathbf{-810{\cdot}4\ J}$

তাপগতি বিদ্যার প্রথম সূত্রানুযায়ী $\Delta E = q + W = 500 - 810{\cdot}4 = \mathbf{-310{\cdot}4\ J}$

(7) 27°C উষ্ণতা এবং 1 atm চাপে থাকা 2 মোল পরিমাণ একটি আদর্শ গ্যাসকে সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় বাইরে থেকে 3 atm চাপ প্রয়োগ করে ওর আয়তন, প্রাথমিক আয়তনের 1/3 আয়তন করা হল। q, W এবং ΔE নির্ণয় করো।

Ans. কৃত কার্য $W = -P\Delta V = -P(V_2 - V_1)$

এখানে $V_1 = \frac{nRT}{P_1}$, $n = 2$ মোল, $R = 0{\cdot}082$ L atm. mol^{-1} K^{-1}

$T = 273 + 27 = 300$ K, $P_1 = 1$ atm. $V_2 = ?$ $P_2 = 3$ atm

$V_1 = \frac{2 \times 0{\cdot}082 \times 300}{1} = 49{\cdot}2$ L এবং $V_2 = \frac{nRT}{P_2} = \frac{2 \times 0{\cdot}082 \times 300}{3} = 16{\cdot}4$ L

$W = -P(V_2 - V_1) = -3(16{\cdot}4 - 49{\cdot}2)$ L $= 98{\cdot}4$ L atm $= 98{\cdot}4 \times 101{\cdot}3 = \mathbf{9{\cdot}9679\ kJ}$

যেহেতু প্রক্রিয়াটি সমোষ্ণ সুতরাং, $\Delta E = 0$ আবার, $\Delta E = q + W$

বা, $0 = q + 9{\cdot}9679$ বা, $q = \mathbf{-9{\cdot}9679\ kJ}$.

(8) $27°C$ উষ্ণতায় 1 মোল এক পরমাণুক একটি আদর্শ গ্যাস, 2 atm চাপের বিরুদ্ধে রুদ্ধতাপ প্রক্রিয়ায়, সম্প্রসারিত হয়ে আয়তন $10\ dm^3$ থেকে বেড়ে $20\ dm^3$ হল। q, W এবং ΔE নির্ণয় করো।

Ans. (i) যেহেতু প্রক্রিয়াটি রুদ্ধতাপ প্রক্রিয়া, সুতরাং $q = 0$

(ii) 2 atm চাপের বিরুদ্ধে গ্যাসটির প্রসারণ ঘটে, সুতরাং $W = -P\Delta V = -P(V_2 - V_1) = -2(20 - 10)$
$= -20$ atm $dm^3 = 101.3 \times -20 = -2026$ J.

(iii) যেহেতু $\Delta E = q + W$ এক্ষেত্রে $q = 0$ $\therefore \Delta E = 0 + (-2026) = $ **-2026 J**

● **তাপগতি বিজ্ঞানের প্রথম সূত্রের সীমাবদ্ধতা** (Limitations of first law of thermodynamics)ঃ

তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রটি, শক্তির এক রূপ থেকে অন্য একটি রূপে রূপান্তরিত হওয়ার বিষয় আলোচনা করে এবং বিভিন্ন রাসায়নিক বিক্রিয়ায় শক্তির রূপান্তর কীভাবে ঘটে তা ব্যাখ্যা করে।

প্রথম সূত্রটির মূল বক্তব্য হল—বিভিন্ন ভৌত এবং রাসায়নিক প্রক্রিয়াগুলি এমনভাবে ঘটে, যেন শক্তির মোট পরিমাণের কোনোরূপ পরিবর্তন না হয়—অর্থাৎ সিস্টেম এবং পরিবেশের মোট শক্তি সর্বদা ধ্রুবক থাকে। তবে সাধারণভাবে দেখা যায়, প্রতিটি প্রক্রিয়ারই একটি বিশেষ অভিমুখে ঘটার জন্য স্বাভাবিক প্রবণতা থাকে। এখানে একটি প্রশ্ন এসে পড়ে—একটি নির্দিষ্ট বিক্রিয়া নিজে থেকে একটি বিশেষ অভিমুখে ঘটে কেন? তাপগতি বিজ্ঞানের প্রথম সূত্রটি কিন্তু এ বিষয়ে নীরব। কোনো ভৌত অথবা রাসায়নিক প্রক্রিয়া একটি বিশেষ অভিমুখে নিজে থেকে কেন ঘটে অর্থাৎ প্রক্রিয়াগুলির স্বতঃস্ফূর্ততা বা স্বাভাবিক প্রবণতার কারণ আমাদের জানায় তাপগতিবিজ্ঞানের দ্বিতীয় সূত্রটি।

3.6. একটি রাসায়নিক বিক্রিয়ার স্বতঃস্ফূর্ততা বা স্বাভাবিক প্রবণতা [Spontaneity of a Chemical Reaction]

যে প্রক্রিয়া কতগুলি শর্ত সাপেক্ষে নিজ থেকেই একটি নির্দিষ্ট অভিমুখে ঘটতে থাকে অথবা কোনো প্রারম্ভকের উপস্থিতিতে প্রক্রিয়াটি একবার ঘটতে শুরু করলে নিজে থেকেই নির্দিষ্ট অভিমুখে ঘটতে থাকে, সেই প্রক্রিয়াকে স্বতঃস্ফূর্ত প্রক্রিয়া বলে। একটি রাসায়নিক বিক্রিয়া মুহূর্তের মধ্যে সংঘটিত হলেই যে বিক্রিয়াটি স্বতঃস্ফূর্ত হবে এমন কোনো কথা নেই। বিক্রিয়ার স্বতঃস্ফূর্ততা বলতে শুধু এই বোঝায় যে, বিক্রিয়াটির নিজ থেকেই একটি বিশেষ অভিমুখে ঘটার প্রবণতা আছে—বিক্রিয়াটি খুব ধীরগতিতে অথবা অতি দ্রুতগতিতে ঘটতে পারে।

● **কয়েকটি স্বতঃস্ফূর্ত বিক্রিয়া যেগুলির আরম্ভের জন্য প্রারম্ভিক সাহায্যের প্রয়োজন হয় না—**

(i) কঠিন সাধারণ লবণের কেলাস জলে দ্রবীভূত হয়ে লবণের দ্রবণে পরিণত হল। লবণের কেলাস → লবণের দ্রবণ।

(ii) নদী, পুকুর, হ্রদ, সমুদ্রের জল অথবা খোলা পাত্রে রাখা জল সব সময়ে বাষ্পীভূত হতে থাকে।

$$H_2O\,(l) \longrightarrow H_2O\,(g)$$

(iii) বর্ণহীন নাইট্রিক অক্সাইড গ্যাস অক্সিজেনের সংস্পর্শে এলেই বাদামি বর্ণের নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইডে পরিণত হয়।

$$2NO\,(g) + O_2(g) \longrightarrow 2NO_2\,(g)$$

● **কয়েকটি স্বতঃস্ফূর্ত বিক্রিয়া ঘটার জন্য প্রারম্ভিক সাহায্যের প্রয়োজন হয় যেমন—**

(i) হাইড্রোজেন এবং অক্সিজেন গ্যাস মিশিয়ে একটি গ্যাসজারে রাখলে কোনো বিক্রিয়া হয় না। এখন ওই মিশ্রণে অগ্নি স্ফুলিঙ্গের সৃষ্টি করলেই সাধারণ উষ্ণতায় বিস্ফোরণ সহ H_2 এবং O_2 পরস্পর যুক্ত হয়ে জলে পরিণত হয়।

$$H_2\,(g) + {}^1/_2\,O_2\,(g) \xrightarrow[\text{স্ফুলিঙ্গ}]{\text{অগ্নি}} H_2O\,(l)$$

(ii) মিথেনের সঙ্গে অক্সিজেন গ্যাস মেশালে কোনো বিক্রিয়া আরম্ভ হয় না। বিক্রিয়াটি আরম্ভের জন্য যে প্রারম্ভিক সাহায্যের দরকার, তা হল দহন। ওই মিশ্রণে আগুন দিলেই CH_4 এবং O_2 এর মধ্যে বিক্রিয়া ঘটে CO_2 এবং H_2 উৎপন্ন হয়।

$$CH_4\,(g) + 2O_2(g) \xrightarrow{\text{দহন}} CO_2\,(g) + 2H_2O\,(l)$$

উপরের বিক্রিয়াগুলি দেখে এই সিদ্ধান্ত করা যায় যে, **স্বতঃস্ফূর্ততা হল প্রদত্ত শর্তসাপেক্ষে, একটি প্রক্রিয়ার নিজে থেকেই একটি নির্দিষ্ট অভিমুখে ঘটার স্বাভাবিক প্রবণতা।**

অপরদিকে, যে প্রক্রিয়া স্বাভাবিকভাবে ঘটে না এবং যে প্রক্রিয়ায়, বাইরে থেকে সিস্টেমে ক্রমাগত শক্তি সরবরাহ করে প্রক্রিয়াটিকে ঘটাতে বাধ্য করা হয়, সেই প্রক্রিয়াটিকে **অস্বতঃস্ফূর্ত প্রক্রিয়া** বলে।

যেমন, নদীর জল পাহাড়ের ওপর থেকে নীচের দিকে প্রবাহিত হয়—এটি হল স্বতঃস্ফূর্ত প্রক্রিয়া।

এখন যদি পাম্পের সাহায্যে নদীর জলকে জলের স্বাভাবিক প্রবণতার বিরুদ্ধে পাহাড়ের উপরে চালনা করা হয়, তাহলেও কিন্তু প্রক্রিয়াটি চলতে থাকবে যতক্ষণ পর্যন্ত শক্তি সরবরাহ করা হবে,—শক্তি সরবরাহ বন্ধ হলেই কিন্তু ওই প্রক্রিয়াটি বন্ধ হয়ে যাবে। বিভিন্ন স্বতঃস্ফূর্ত প্রক্রিয়াগুলির একটি নির্দিষ্ট দিকে ঘটার স্বাভাবিক প্রবণতা লক্ষ করে বোঝা যায় যে, প্রক্রিয়াগুলিকে স্বাভাবিক এবং স্বতঃস্ফূর্ত করার মূলে নিশ্চয় কোনো **চালক বল** (driving force) আছে। আমরা জানি যে, সব রাসায়নিক বিক্রিয়াই শক্তির পরিবর্তনের সঙ্গে যুক্ত, সুতরাং বিভিন্ন রাসায়নিক বিক্রিয়াগুলিকে শক্তির পরিবর্তনের আলোকেই ব্যাখ্যা করা যুক্তিযুক্ত।

পাহাড়ের উপরে থাকা জলের স্থিতিশক্তি, অনেক নীচে সমতলে থাকা জলের স্থিতিশক্তির চেয়ে অনেক বেশি। এর থেকে বোঝা যায় যে, যে কোনো **স্বতঃস্ফূর্ত বিক্রিয়া সর্বদা বেশি শক্তি থেকে কম শক্তির অধিকারী হতে চায়।** সবচেয়ে কম শক্তির অবস্থা হল সবচেয়ে সুস্থির অবস্থা। সুতরাং মহাবিশ্বের সব সিস্টেমই দুঃস্থিত অবস্থা থেকে সুস্থির অবস্থায় আসার জন্য স্বাভাবিক প্রবণতা থাকে। এর থেকেই বোঝা যায়, **যে প্রক্রিয়ায় বাড়তি শক্তি মুক্ত হয় সেই প্রক্রিয়া ঘটার একটি স্বাভাবিক প্রবণতা থাকে। তাই দেখা যায় বেশির ভাগ তাপমোচী রাসায়নিক বিক্রিয়াগুলি হল স্বতঃস্ফূর্ত।** যেমন,

$$C(s) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) \qquad \Delta H = -394 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$N_2(g) + 3H_2(g) \longrightarrow 2NH_3(g) \qquad \Delta H = -92{\cdot}4 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$H_2(g) + {}^1/_2\, O_2(g) \longrightarrow H_2O(l) \qquad \Delta H = -285 \text{ kJ mol}^{-1}$$

সুতরাং সিদ্ধান্ত করা যায়—**যে বিক্রিয়াগুলি তাপমোচী, ΔH এর মান নেগেটিভ, সেই বিক্রিয়াগুলি স্বতঃস্ফূর্তভাবে ঘটে।** সংক্ষেপে বলা যায় **$-\Delta H$ চিহ্নটি হল স্বতঃস্ফূর্ত বিক্রিয়ার নির্দেশক।**

স্বতঃস্ফূর্ত বিক্রিয়ায়, এনথ্যালপির হ্রাস অর্থাৎ **$-\Delta H$-কে স্বতঃস্ফূর্ত বিক্রিয়ার চালক-বল রূপে ধরা যায়।**

● স্বতঃস্ফূর্ত বিক্রিয়ার নির্দেশক রূপে এনথ্যালপি হ্রাসের সীমাবদ্ধতা ঃ

(i) অনেক তাপশোষক বিক্রিয়াও স্বতঃস্ফূর্ত হতে দেখা যায়, অর্থাৎ এনথ্যালপি পজিটিভ হলেও বিক্রিয়াটি স্বতঃস্ফূর্ত হয়। যেমন, জলের বাষ্পায়ন প্রক্রিয়াটি তাপশোষক, এটি কিন্তু একটি স্বতঃস্ফূর্ত বিক্রিয়া।

$$H_2O(l) \longrightarrow H_2O(g) \quad \Delta H = +44 \text{ kJ mol}^{-1}$$

NH_4Cl-এর জলে দ্রবীভূত হওয়ার প্রক্রিয়াটি একটি স্বতঃস্ফূর্ত বিক্রিয়া, কিন্তু এটিও তাপশোষক পরিবর্তন।

$$NH_4Cl(s) \longrightarrow NH_4^+(aq) + Cl^-(aq) \qquad \Delta H = +15 \text{ kJ mol}^{-1}$$

(ii) অনেক রাসায়নিক বিক্রিয়ায় ΔH নেগেটিভ হওয়া সত্ত্বেও বিক্রিয়াটি সম্পূর্ণ হয় না। বাস্তবে দেখা গেছে সমস্ত স্বতঃস্ফূর্ত বিক্রিয়াগুলি স্বতঃস্ফূর্তভাবে ঘটে চলে যতক্ষণ পর্যন্ত না সাম্য অবস্থায় পৌঁছায়।

(iii) বেশির ভাগ বিক্রিয়াগুলি হল উভমুখী—তাই সম্মুখ বিক্রিয়া এবং বিপরীত বিক্রিয়া এক সাথে ঘটতে থাকে। **সম্মুখ বিক্রিয়াটি তাপমোচী হলে বিপরীত বিক্রিয়াটি তাপশোষক বিক্রিয়া হবে।** যেমন,

সম্মুখ বিক্রিয়া ঃ $H_2(g) + I_2(g) \longrightarrow 2HI(g) \qquad \Delta H = -ve$

বিপরীত বিক্রিয়া ঃ $2HI(g) \longrightarrow H_2(g) + I_2(g) \qquad \Delta H = +ve$

এই আলোচনার পর আমরা সিদ্ধান্ত করতে পারি যে, সর্বনিম্ন শক্তির অধিকারী হওয়ার প্রবণতা অর্থাৎ **$-\Delta H$ চিহ্নটি একটি প্রক্রিয়ার স্বতঃস্ফূর্ততার নির্দেশক হলেও, একমাত্র নির্দেশক নয়।**

● আণবিক বিশৃঙ্খলা এবং স্বতঃস্ফূর্ততা (Molecular Randomness and spontaneity)ঃ

একটি প্রক্রিয়ার স্বতঃস্ফূর্ততার অন্যান্য কারণ আছে কিনা খোঁজ করতে গিয়ে আণবিক বিশৃঙ্খলার পরিচয় পাওয়া যায়। নানা পরীক্ষা-নিরীক্ষা করে দেখা গেছে, একটি প্রক্রিয়া স্বতঃস্ফূর্তভাবে সেই দিকে ঘটে, যেদিকে ঘটলে সিস্টেমের আণবিক বিশৃঙ্খলা বেড়ে যায়। নীচের কয়েকটি প্রক্রিয়ায় দেখা যায় যে, সিস্টেমের আণবিক বিশৃঙ্খলা বৃদ্ধি যে দিকে ঘটে, প্রক্রিয়াটির সেই দিকে ঘটার একটি স্বাভাবিক প্রবণতা থাকে। যেমন—

(i) নদী, হ্রদ, সমুদ্র বা পাত্রে রাখা জল—সবক্ষেত্রেই জলতলের উপরতল থেকে সব সময় বাষ্পায়ন ঘটে চলেছে যদিও প্রক্রিয়াটি তাপগ্রাহী। এর কারণ হিসাবে বলা যায় যে তরল অবস্থায় জলের অণুগুলি এলোমেলোভাবে ছোটাছুটি করার জন্য

যেটুকু জায়গা পায়, ওই জল বাষ্পে পরিণত হলে আয়তন অনেক গুণ বেড়ে যাওয়ার ফলে জলের অণুগুলির ছোটাছুটি করার জায়গা অনেকটা বেড়ে যায় অর্থাৎ অণুগুলির বিশৃঙ্খল হওয়ার সুযোগও অনেক বেড়ে যায়। তাই দেখা যায়, জলের বাষ্পায়ন প্রক্রিয়াটি তাপশোষক হলেও যেহেতু বাষ্পায়নে আণবিক বিশৃঙ্খলা বাড়ে, তাই স্বতঃস্ফূর্তভাবে নিজ থেকেই জলের বাষ্পায়ন ঘটতে থাকে।

$$H_2O\,(l) \longrightarrow H_2O(g)$$

(ii) ফ্রিজ থেকে কঠিন বরফের টুকরো বের করে টেবিলে রাখলেই বরফটি গলে জলে পরিণত হতে আরম্ভ করে। এটি তাপগ্রাহী বিক্রিয়া ($\Delta H + ve$) হলেও বিক্রিয়াটি স্বতঃস্ফূর্তভাবে ঘটতে থাকে। এর কারণ হল, কঠিন বরফে অণু-অণুর মধ্যে আন্তরাণবিক আকর্ষণ বল বেশি হওয়ায় ওর আণবিক কণাগুলির এলোমেলোভাবে ছোটাছুটি করার সুযোগ কম পায়। বরফটি গলে জলে পরিণত হলে, আন্তরাণবিক আকর্ষণ বল কমে যাওয়ার ফলে ওর মধ্যস্থ আণবিক কণাগুলি বিশৃঙ্খল হওয়ার সুযোগ আরও বেশি পায়, তাই বরফ জলে পরিণত হতে থাকে।

$$H_2O(s) \longrightarrow H_2O(l) \quad \Delta H = +\,\text{ve}$$

(iii) কঠিন অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইডের মধ্যে ওর আণবিক কণাগুলির বিশৃঙ্খল হওয়ার সুযোগ কম পায়। এই কঠিন NH_4Cl জলে দ্রবীভূত হলে NH_4Cl-এর কণাগুলি NH_4^+ এবং Cl^- আয়ন রূপে জলের মধ্যে মুক্তভাবে ছোটাছুটি করার জায়গা বেশি পায়, ফলে কণাগুলি বেশি মাত্রায় বিশৃঙ্খল হয়ে ওঠে। তাই NH_4Cl-এর জলে দ্রবীভূত হওয়ায় প্রক্রিয়াটি স্বতঃস্ফূর্ত প্রক্রিয়া।

$$NH_4Cl(s) + \text{জল}\,(l) \longrightarrow NH_4^+\,(aq) + Cl^-\,(aq)$$

দেখা গেল উপরের বিক্রিয়াগুলির প্রত্যেকটি তাপশোষক প্রক্রিয়া হলেও স্বতঃস্ফূর্ত। সুতরাং আমরা বলতে পারি, **সর্বাধিক বিশৃঙ্খল অবস্থা লাভের প্রবণতা হল স্বতঃস্ফূর্ত বিক্রিয়া ঘটার অপর একটি কারণ।**

তাহলে মোটামুটি দেখা গেল, সিস্টেমের দুরকম প্রবণতার জন্য স্বতঃস্ফূর্ত প্রক্রিয়াগুলি ঘটে। প্রবণতাগুলি হল—

(i) **সর্বনিম্ন শক্তির অধিকারী হওয়ার প্রবণতা,** (ii) **আণবিক কণাগুলির সর্বোচ্চ বিশৃঙ্খল অবস্থায় আসার প্রবণতা।**

একটি প্রক্রিয়া স্বাভাবিকভাবে নির্দিষ্ট অভিমুখে নিজে থেকে ঘটার জন্য মিলিত প্রবণতাগুলিকে এককথায় **চালক বল** বলা হয়। এই দুরকম প্রবণতা পরস্পরের উপর নির্ভর করে না। একটি প্রক্রিয়ায়, এই দুরকম প্রবণতা পরস্পরের বিপরীতে ক্রিয়া করতে পারে। এই জাতীয় বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে যে প্রবণতাটি বেশি, তার দ্বারাই স্থির হয় যে বিক্রিয়াটি ঘটবে কিনা।

3.7. তাপগতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্র [Second law of thermodynamics]

একটি বিক্রিয়া স্বতঃস্ফূর্ত হবে কিনা এবং হলে বিক্রিয়াটি কত দূর পর্যন্ত এগোবে, সে বিষয়ে তাপগতি বিদ্যার দ্বিতীয় সূত্রটি সঠিকভাবে আমাদের জানায়। এই দ্বিতীয় সূত্রটি এনট্রপি সম্বন্ধে ধারণা দেয় এবং স্বতঃস্ফূর্ত বিক্রিয়ার সঙ্গে এনট্রপির সম্পর্ক প্রকাশ করে।

● **তাপগতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্র ঃ (i) প্রতিটি স্বতঃস্ফূর্ত বা স্বাভাবিক প্রক্রিয়া ঘটার সময়, মহাবিশ্বের এনট্রপি ক্রমশ বৃদ্ধি পেয়ে চরম মানে পৌঁছাবার চেষ্টা করে।** অর্থাৎ একটি বিচ্ছিন্ন সিস্টেমে যখনই স্বতঃস্ফূর্ত প্রক্রিয়া ঘটে এনট্রপির পরিবর্তন সর্বদাই পজিটিভ হবে।

সুতরাং তাপগতিবিদ্যার প্রথম ও দ্বিতীয় সূত্রের মূল বক্তব্যকে এইভাবে প্রকাশ করা যায়—

(ii) মহাবিশ্বের শক্তি সংরক্ষিত হয়, কিন্তু মহাবিশ্বের এনট্রপি যে-কোনো স্বাভাবিক প্রক্রিয়ায় ক্রমশ বৃদ্ধি পেয়ে চরম মানে পৌঁছাবার চেষ্টা করে।

এনট্রপি (Entropy) ঃ কোনো সিস্টেমের যে ধর্ম, ওর মধ্যস্থ আণবিক কণাগুলির বিশৃঙ্খলার মাত্রা পরিমাপ করে, তাকে এনট্রপি বলে। —অর্থাৎ কোনো সিস্টেমের এনট্রপি হল সিস্টেমটির আণবিক বিশৃঙ্খলার পরিমাপক। বিশৃঙ্খলা বাড়লে এনট্রপিও বাড়ে, কমলে এনট্রপি কমে। এনট্রপিকে S-অক্ষর দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

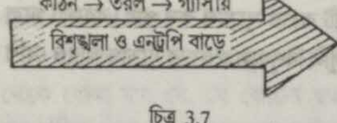
অভ্যন্তরীণ শক্তি এবং এনথ্যালপির মতো এনট্রপিও অবস্থা নির্ভরক।

(i) কোনো সিস্টেম এক অবস্থা থেকে অন্য এক অবস্থায় যেতে এনট্রপির যে পরিবর্তন হয় তাকে ΔS দ্বারা সূচিত করা হয়। অর্থাৎ সিস্টেমের এনট্রপির পরিবর্তন **ΔS = [অন্তিম অবস্থায় এনট্রপি (S_f)] – [প্রাথমিক অবস্থায় এনট্রপি (S_i)]**

(ii) **রাসায়নিক বিক্রিয়ায়, ΔS = [বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলির এনট্রপি (S_p) – বিক্রিয়কগুলির এনট্রপি (S_r)]**

প্রত্যাবর্তক বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায়, এনট্রপির পরিবর্তন $\Delta S = \frac{q_{rev}}{T}$ ... ... (3.17)
যেখানে, q_{rev} = সিস্টেম দ্বারা শোষিত তাপ এবং T = পরম স্কেলে উষ্ণতা।
এখন, (3·17) সমীকরণ থেকে বলা যায় যে, q_{rev} পজিটিভ হলে ΔS পজিটিভ হবে, q_{rev} নেগেটিভ হলে ΔS নেগেটিভ হবে।

● **এনট্রপির ভৌত অর্থ—এনট্রপি হল সিস্টেমের আণবিক বিশৃঙ্খলার মাত্রা পরিমাপক।** কোনো সিস্টেমের আণবিক বিশৃঙ্খলা যত বাড়ে, তার এনট্রপিও তত বাড়তে থাকে। এর থেকেই বিভিন্ন অবস্থার পরিবর্তনে এনট্রপি পরিবর্তনের ব্যাখ্যা পাওয়া যায়। এর থেকে বোঝা যায় যে, একটি পদার্থের কঠিন অবস্থায়, আণবিক শৃঙ্খলার মাত্রা বেশি হওয়ার জন্য ওর এনট্রপির মান সর্বনিম্ন হয়। পদার্থটির গ্যাসীয় অবস্থায় তার অণুগুলির বিশৃঙ্খলা চরমে পৌঁছে বলে তার এনট্রপির মান সর্বোচ্চ হয়। যেহেতু এনট্রপির পরিবর্তন = তাপ/উষ্ণতা, তাই এর একক হল, ক্যালরি/ডিগ্রি বা জুল/**K**।



চিত্র 3.7

● **স্বতঃস্ফূর্ততা এবং এনট্রপি ঃ** স্বতঃস্ফূর্ততা এবং এনট্রপির মধ্যে সম্পর্ক জানার জন্য কয়েকটি স্বতঃস্ফূর্ত প্রক্রিয়ার ঘটনা উল্লেখ করা হল—

(i) স্টপকক্ সহ সংযোগ নল যুক্ত প্রতিটি এক লিটার আয়তনের কাচের বালবের একটিতে একই চাপ ও উষ্ণতায়, He গ্যাস এবং অপরটিতে Ne গ্যাস ভর্তি করে সংযোগ নলের স্টপকক্টি খুলে দিলে, দুটি গ্যাস পরস্পরের সঙ্গে মিশে যেতে থাকে এবং একসময় দুটি বাল্‌বেই গ্যাস দুটির সমসত্ত্ব মিশ্রণ পাওয়া যাবে।



চিত্র 3.8



চিত্র 3.9

(ii) ম্যানোমিটার যুক্ত ও তাপের অপরিবাহী একটি বন্ধ পাত্রের মধ্যে কিছু পরিমাণ জল রাখা হল। কিছু সময় পর ম্যানোমিটারে দেখা গেল যে, বন্ধ পাত্রের ভেতরে চাপ বাড়ছে অর্থাৎ বাইরের তাপ ভেতরে যেতে না পারলেও পাত্রের জলের স্বতঃস্ফূর্তভাবেই বাষ্পায়ন ঘটে চলেছে, যার ফলে ভেতরের চাপ বাড়ছে। উপরের দুটি প্রক্রিয়ায় সিস্টেমটিকে বিচ্ছিন্ন বলে ধরা যায়, কারণ পরিবেশ ও সিস্টেমের মধ্যে তাপের আদান-প্রদান হয় না।

● **বিচ্ছিন্ন (isolated) সিস্টেম ও পরিবেশের মধ্যে শক্তি বা ভরের কোনো আদান প্রদান না হলেও,** সিস্টেমের অন্তর্ভুক্ত গ্যাসের অণুগুলির বিশৃঙ্খলা বেড়ে যাওয়ার জন্য ওর এনট্রপি বৃদ্ধি পায়। সুতরাং বলা যায়, **বিচ্ছিন্ন সিস্টেমে একটি স্বতঃস্ফূর্ত প্রক্রিয়ায় এনট্রপির পরিবর্তন পজিটিভ হবে,** অর্থাৎ $S_{অন্তিম} > S_{প্রাথমিক}$ বা $S_{অন্তিম} - S_{প্রাথমিক} = \Delta S > 0$ হবে।

সিস্টেমটি যদি বিচ্ছিন্ন না হয়, তাহলে সিস্টেম এবং পরিবেশ উভয়েরই এনট্রপির পরিবর্তনকেই ধরতে হবে। এক্ষেত্রে এনট্রপি পরিবর্তনের মোট পরিমাণ

$$\Delta S_{Total} = \text{সিস্টেমের এনট্রপি পরিবর্তন } (\Delta S_{System}) + \text{পরিবেশের এনট্রপি পরিবর্তন } (\Delta S_{Surr})$$

অর্থাৎ $\Delta S_{Total} = \Delta S_{System} + \Delta S_{Surr}$ ... ... (3.18)

স্বতঃস্ফূর্ত প্রক্রিয়ায় ΔS_{total} পজিটিভ হবেই, অর্থাৎ $\Delta S_{Total} = \Delta S_{System} + \Delta S_{Surr} > 0$ হবে।

এখন যেহেতু সিস্টেম এবং পরিবেশ মিলে মহাবিশ্ব গঠিত, সুতরাং তাপগতি বিদ্যার ক্ষেত্রে $\Delta S_{universe} > 0$

● **এনট্রপি এবং সাম্য অবস্থা ঃ** কোনো উভমুখী প্রক্রিয়া ঘটার সময় সিস্টেমের এনট্রপি ক্রমশ বেড়ে চলে। সিস্টেমটি যখন সাম্য অবস্থায় পৌঁছায়, সিস্টেমটির এনট্রপি সর্বাধিক হয়—এর পর সিস্টেমের এনট্রপি বৃদ্ধির কোনো সম্ভাবনা থাকে না। সুতরাং বলা যায় যে, **একটি সিস্টেমের সাম্যে পৌঁছাবার শর্ত হল—সিস্টেমটির সর্বোচ্চ এনট্রপি অর্জন।** এনট্রপি সর্বোচ্চ হওয়ার গাণিতিক শর্ত হল, **এনট্রপির পরিবর্তন $\Delta S = 0$ হবে (সাম্য অবস্থায়) অর্থাৎ কোনো বিক্রিয়া সাম্যে পৌঁছালে, তার $\Delta S = 0$ হবে।**

● **কোনো বিক্রিয়ার এনট্রপির পরিবর্তন দেখে, বিক্রিয়াটি স্বতঃস্ফূর্ত অর্থাৎ স্বাভাবিকভাবে ঘটবে কিনা জানা যায়।** যেমন, 1 atm চাপে জলকে বরফে পরিণত করার চেষ্টা করা হল। এই প্রক্রিয়ায় বিভিন্ন উষ্ণতায় এনট্রপির পরিবর্তন নীচে দেখান হল। কোন্ অবস্থায় বিক্রিয়াটি ঘটবে এবং কোন্ অবস্থায় ঘটবে না নির্ণয় করতে হবে। $H_2O(l) \longrightarrow H_2O\ (s)$

272 K উষ্ণতায়, সিস্টেমের $\Delta S = -21·85\ JK^{-1}\ mol^{-1}$, পরিবেশের $\Delta S = +21·935\ JK^{-1}\ mol^{-1}$
273 K উষ্ণতায়, সিস্টেমের $\Delta S = -21·99\ JK^{-1}\ mol^{-1}$, পরিবেশের $\Delta S = +21·99\ JK^{-1}\ mol^{-1}$
274 K উষ্ণতায়, সিস্টেমের $\Delta S = -22·13\ JK^{-1}\ mol^{-1}$, পরিবেশের $\Delta S = +22·05\ JK^{-1}\ mol^{-1}$

(i) আমরা জানি $\Delta S_{Total} = \Delta S_{System} + \Delta S_{Surr}$

প্রথম ক্ষেত্রে **272 K** উষ্ণতায়, প্রদত্ত মানগুলিকে সমীকরণে বসিয়ে,

$\Delta S_{Total} = -21{\cdot}850 + 21{\cdot}935 = +\,0{\cdot}085\ JK^{-1}\ mol^{-1}$।

যেহেতু ΔS_{Total}-এর মান পজিটিভ, 272K উষ্ণতায় তরল জলকে বরফে পরিণত করার প্রক্রিয়াটি স্বতঃস্ফূর্ত হবে।

(ii) 273 K উষ্ণতায়, $\Delta S_{Total} = -21{\cdot}99 + 21{\cdot}99 = 0$ হয়। যেহেতু ΔS_{Total}-এর মান 0 সুতরাং সিস্টেমটি সাম্য অবস্থায় থাকবে অর্থাৎ বরফের গলন বা জলের কঠিনীভবন, একই সাথে ঘটতে থাকবে। 273 K উষ্ণতায় জল এবং বরফ সাম্য অবস্থায় থাকবে। $H_2O\ (l) \rightleftharpoons H_2O(s)$

(iii) 274 K উষ্ণতায় $\Delta S_{Total} = -22{\cdot}13 + 22{\cdot}05 = -\,0{\cdot}08$। দেখা যাচ্ছে এইক্ষেত্রে ΔS_{Total}-এর মান নেগেটিভ হয়, সুতরাং 274K উষ্ণতায় জলকে বরফে পরিণত করা সম্ভব নয়।

● **অবস্থার পরিবর্তনে এনট্রপির পরিবর্তন**—পদার্থের এক অবস্থা (কঠিন, তরল, গ্যাসীয়) থেকে অন্য অবস্থায় যাওয়ার সময় এনট্রপির পরিবর্তন হয়। এইরূপ পরিবর্তন একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় ঘটে। যেমন কঠিন থেকে তরলে পরিণত হওয়ার প্রক্রিয়াটি ঘটে গলনাঙ্কে। আবার তরল থেকে বাষ্পে পরিণত হওয়ার প্রক্রিয়াটি ঘটে স্ফুটনাঙ্কে। এইরূপ অবস্থার পরিবর্তনে এনট্রপির যে পরিবর্তন হয় তা পরিমাপ করা যায় $\Delta S_{\text{অবস্থান্তর}} = q_{rev}/T$ সমীকরণ দ্বারা।

(1) গলনের এনট্রপি ঃ একমোল পরিমাণ কোনো কঠিন পদার্থের, ওর গলনাঙ্কে, কঠিন থেকে তরলে পরিণত হতে এনট্রপির যে পরিবর্তন হয়, তাকে ওই কঠিনের গলনের এনট্রপি বলে। কঠিন $\rightleftharpoons$ তরল

অবস্থার এই পরিবর্তনের সময়, সিস্টেমটি স্থির চাপ ও উষ্ণতায় তাপ শোষণ করে। এই শোষিত তাপই গলনের এনথ্যালপির (ΔH_{Fusion}) সমান হয়। অবস্থার এই পরিবর্তনে এনট্রপির পরিবর্তন নীচের সমীকরণের সাহায্যে পরিমাপ করা যায়।

$$\Delta S_{Fusion} = (S_l - S_s) = \frac{\Delta H_{Fusion}}{T_f} \qquad \cdots \qquad \cdots \ (3.19)$$

যেখানে, ΔS_{Fusion} = গলনের এনট্রপি, S_l = গলনাঙ্কে এক মোল তরলের এনট্রপি, S_s = গলনাঙ্কে একমোল কঠিনের এনট্রপি, T_f = পদার্থটির গলনাঙ্ক।

এখন যেহেতু ΔH_{Fusion} পজিটিভ, সুতরাং ΔS_{Fusion} পজিটিভ হবে। $\therefore S_l > S_s$ হবে, অর্থাৎ তরল পদার্থের এনট্রপি কঠিন পদার্থটির এনট্রপির চেয়ে **বেশি হবে।**

(2) বাষ্পীভবনের এনট্রপি ঃ একমোল পরিমান কোনো তরল পদার্থের, ওর স্ফুটনাঙ্কে, তরল থেকে বাষ্পে পরিণত হতে এনট্রপির যে পরিবর্তন হয়, তাকে ওই তরলের বাষ্পীভবনের এনট্রপি বলে। তরল $\rightleftharpoons$ বাষ্প

অবস্থার এই পরিবর্তনে এনট্রপির পরিবর্তন নীচের সমীকরণের সাহায্যে নির্ণয় করা যায়।

$$\Delta S_{vap} = (S_g - S_l) = \frac{\Delta H_{vap}}{T_b} \qquad \cdots \qquad \cdots \ (3.20)$$

যেখানে ΔS_{vap} = বাষ্পীভবনের এনট্রপি, ΔH_{vap} = বাষ্পীভবনের এনথ্যালপি, S_g = স্ফুটনাঙ্কে এক মোল পরিমাণ পদার্থটির গ্যাসীয় অবস্থার এনট্রপি, S_l = স্ফুটনাঙ্কে একমোল পরিমাণ পদাথটির তরল অবস্থার এনট্রপি, T_b = তরল পদার্থটির স্ফুটনাঙ্ক। এখন যেহেতু ΔH_{vap} পজিটিভ সুতরাং ΔS_{vap} ও পজিটিভ হবে। সুতরাং $S_g > S_l$ হবে, অর্থাৎ পদাথটির গ্যাসীয় অবস্থার এনট্রপি, পদার্থটির তরল অবস্থার এনট্রপির চেয়ে বেশি হবে।

● গাণিতিক উদাহরণ (Numerical Examples) ঃ

(1) ইথানলের স্ফুটনাঙ্ক 78·4°C এবং ইথানলের বাষ্পীভবনের এনথ্যালপি 42·4 kJ mol⁻¹। ইথানলের বাষ্পীভবনের এনট্রপি নির্ণয় করো।

Ans. $\Delta S_{vap} = \frac{\Delta H_{Vap}}{T_b}$ এখানে, $\Delta H_{vap} = 42{\cdot}4\ kJ\ mol^{-1}$, $T_b = 78{\cdot}4°C = 351{\cdot}4\ K$

$\therefore \Delta S_{vap} = \frac{42{\cdot}4 \times 1000\ J\ mol^{-1}}{351{\cdot}4\ K} = 120{\cdot}6\ JK^{-1}\ mol^{-1}$

(2) বরফের গলনের এন্ট্রপি নির্ণয় করো। বরফের গলনের লীনতাপ 6˙025 kJ mol^{-1}।

Ans. আমরা জানি গলনের এন্ট্রপি $\Delta S_{Fusion} = \frac{\Delta H_{Fusion}}{T_f}$

বরফের গলনের লীনতাপ = 6˙025 kJ mol^{-1} = 6˙025 × 1000 J mol^{-1}, T_f = 0 + 273 = 273 K

$\therefore \Delta S_{Fusion} = \frac{6.025 \times 1000 \text{ J mol}^{-1}}{273 \text{ K}} = 22.07 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

(3) ইথানলের বাষ্পীভবনের এনথ্যালপি mol^{-1} নির্ণয় করো। দেওয়া আছে ΔS_{vap} = 109˙8 JK^{-1} mol^{-1} এবং ইথানলের স্ফুটনাঙ্ক = 78˙5°C.

Ans. বাষ্পীভবনের জন্য এন্ট্রপির পরিবর্তন = ΔS_{vap} = 109˙8 JK^{-1} mol^{-1}, T_b = 273 + 78˙5 = 351˙5 K

সুতরাং বাষ্পীভবনের জন্য এনথ্যালপির পরিবর্তন $\Delta H_{vap} = \Delta S_{vap} \times T_b$

= 109˙8 JK^{-1} mol^{-1} × 351˙5K = 109˙8 × 351˙5 J mol^{-1} = 38595 J mol^{-1}

(4) 373 K উষ্ণতায় তরল জল থেকে স্টিমে পরিণত হওয়ার জন্য এনথ্যালপির পরিবর্তন হয় 40˙8 kJ mol^{-1}. এই প্রক্রিয়ায় এন্ট্রপির পরিবর্তন নির্ণয় করো।

Ans. জল স্টিমে পরিণত হলে এন্ট্রপির পরিবর্তন $\Delta S = \frac{\Delta H}{T}$ এখানে ΔH = 40˙8kJ mol^{-1} এবং T = 373 K.

$\therefore \Delta S = \frac{40.8 \times 1000 \text{J mol}^{-1}}{373 \text{K}} = 109.4 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$.

3.8. মুক্ত শক্তি এবং মুক্তশক্তির পরিবর্তন ΔG [Free energy and Free energy change ΔG]

একটি প্রক্রিয়া স্বতঃস্ফূর্ত হবে কিনা জানতে হলে সিস্টেম এবং পরিবেশ উভয়ের এন্ট্রপির পরিবর্তন জানা দরকার। কিন্তু রাসায়নিক বিক্রিয়াগুলির ক্ষেত্রে সব সময় পরিবেশের এন্ট্রপির পরিবর্তন নির্ণয় করার অসুবিধা থাকায় **গিবসের মুক্ত শক্তি** নামে একটি তাপগতীয় নির্ভরক ব্যবহার করার ব্যবস্থা করা হয়। এর ব্যবহারের ফলে, একটি বিক্রিয়া স্বতঃস্ফূর্ত হবে কিনা জানার জন্য পরিবেশের এন্ট্রপির পরিবর্তন জানার প্রয়োজন হয় না। কারণ এই নির্ভরকটি হল কোনো সিস্টেমের নিজস্ব ধর্ম—পরিবেশের সঙ্গে এর কোনো সম্পর্ক নেই।

● **গিবস মুক্তশক্তি** (Gibs Free Energy) **: নির্দিষ্ট কতকগুলি শর্তসাপেক্ষে, নীট কার্যে রূপান্তরিত করার জন্য, কোনো সিস্টেম থেকে সর্বাধিক যে পরিমাণ শক্তি পাওয়া যায়, তাকে গিবস মুক্তশক্তি বলে।**

অন্যভাবে বলা যায়, **মুক্তশক্তি হল একটি সিস্টেমের নীট কার্য করার সামর্থ্যের পরিমাপক।** একে G অক্ষর দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

গিবস মুক্তশক্তির গাণিতিক রূপটি হল : $G = H - TS$ ... ... (3.21)

যেখানে H = সিস্টেমের এনথ্যালপি এবং S = সিস্টেমের এন্ট্রপি এবং T = পরম উষ্ণতা।

এখন, $H = E + PV$, এই মান (3.21) নং সমীকরণে বসিয়ে, $G = E + PV - TS$ ... ... (3.22)

মুক্তশক্তির পরিবর্তনকে (ΔG) দ্বারা প্রকাশ করলে, $\Delta G = \Delta E + \Delta(PV) - \Delta(TS)$

স্থির চাপ ও উষ্ণতায় বিক্রিয়াটি ঘটলে, $\Delta(PV) = P\Delta V$ হয় এবং $\Delta(TS) = T\Delta S$ হয়।

সুতরাং স্থির চাপ ও উষ্ণতায় মুক্ত শক্তির পরিবর্তন, $\Delta G = \Delta E + P\Delta V - T\Delta S$ ... ... (3.23)

আবার স্থির চাপ ও উষ্ণতায় $\Delta H = \Delta E + P\Delta V$

সুতরাং স্থির চাপ ও উষ্ণতায় মুক্তশক্তির পরিবর্তন = ΔG হলে, $\boxed{\Delta G = \Delta H - T\Delta S}$ ... ... (3.24)

এই সমীকরণটি গিবস এবং হেলমোজের সমীকরণ নামে পরিচিত এবং কোনো প্রক্রিয়ার স্বতঃস্ফূর্ততার নির্দেশক।

3.9. $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$—এই সম্পর্কটির তাৎপর্য, স্বতঃস্ফূর্ততা এবং মুক্তশক্তির পরিবর্তন [Significance of the relation $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$, Spontaneity and free energy change]

কোনো প্রক্রিয়া চলাকালে মোট এন্ট্রপির পরিবর্তনকে নীচের মতো প্রকাশ করা যায়,

$$\Delta S_{Total} = \Delta S_{system} + \Delta S_{surr} \quad \dots \quad \dots (3.25)$$

ধরা যাক, একটি প্রক্রিয়া স্থির চাপ এবং উষ্ণতায় ঘটছে। ধরি T উষ্ণতায় পরিবেশ থেকে q পরিমাণ তাপ সিস্টেমে যুক্ত হল। এই অবস্থায় পরিবেশের এনট্রপির পরিবর্তন $\Delta S_{surr} = \frac{-q}{T}$ নেগেটিভ চিহ্নদ্বারা বোঝায় যে পরিবেশ q পরিমাণ তাপ হারায়। এখন স্থির চাপ এবং উষ্ণতায় সিস্টেমদ্বারা q পরিমাণ তাপ লাভ করায় ওর এনথ্যালপির পরিবর্তনকে ΔH রূপে প্রকাশ করা যায়।

সুতরাং, $\Delta S_{surr} = \frac{-q_p}{T} = \frac{-\Delta H_{system}}{T}$ (যেহেতু $q_p = \Delta H_{system}$) ... ... (3.26)

এই মান (3.25) নং সমীকরণে বসিয়ে পাই,

$$\Delta S_{total} = \Delta S_{system} + \frac{-\Delta H_{system}}{T} \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.27)$$

উভয়পক্ষে T দ্বারা গুণ করে, $T\Delta S_{total} = T\Delta S_{system} - \Delta H_{system}$ ... ... (3.28)

বা, $-T\Delta S_{total} = \Delta H_{system} - T\Delta S_{system}$

বা, $\Delta G_{system} = -T\Delta S_{total}$ ($\because \Delta H - T\Delta S = \Delta G$) ... ... (3.29)

এই সমীকরণটির সাহায্যে মুক্তশক্তির পরিবর্তন ΔG কে স্বতঃস্ফূর্ততার নির্দেশক রূপে ব্যবহার করা যায়।

● **মুক্ত শক্তির পরিবর্তনকে ΔG স্বতঃস্ফূর্ততার পরিমাপক রূপে ব্যবহার ঃ**

স্থির চাপ এবং উষ্ণতায়, পরিবেশের এনট্রপির মোট পরিবর্তন = ΔS_{total} এবং মুক্ত শক্তির পরিবর্তন = ΔG হলে,

(i) **ΔS_{Total} পজিটিভ হলে ΔG নেগেটিভ হবে, ফলে প্রক্রিয়াটি স্বতঃস্ফূর্ত হবে।**
(ii) **$\Delta S_{Total} = 0$ হলে $\Delta G = 0$ হবে, প্রক্রিয়াটি সাম্য অবস্থায় থাকবে।**
(iii) **ΔS_{Total} নেগেটিভ হলে ΔG পজিটিভ হবে, ফলে প্রক্রিয়াটি স্বতঃস্ফূর্ত হবে না।**

● **গাণিতিক উদাহরণ ঃ**

(1) $H_2(g) + I_2(g) \rightarrow 2HI(g)$—এই গ্যাসীয় বিক্রিয়াটির প্রমাণ এনথ্যালপির পরিবর্তন ($\Delta H°$) এবং এনট্রপির পরিবর্তন ($\Delta S°$) যথাক্রমে 52·0 kJ এবং 165·23 JK^{-1} হলে 298 K উষ্ণতায় বিক্রিয়াটি স্বতঃস্ফূর্ত হবে কিনা নির্ণয় করো।

আমরা জানি $\Delta G° = \Delta H° - T\Delta S°$, প্রদত্ত মানগুলি এই সমীকরণে বসিয়ে পাই

$$\Delta G° = 52{\cdot}0 - 298 \times \frac{165{\cdot}23}{1000} = +\,2{\cdot}7 \text{ kJ}.$$

দেখা গেল যেহেতু মুক্ত শক্তির পরিবর্তন $\Delta G°$ এর মান পজিটিভ (+2·7 kJ) হয়, সুতরাং 298 K উষ্ণতায় বিক্রিয়াটি স্বতঃস্ফূর্ত হবে না।

(2) 298 K উষ্ণতায় $N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$ বিক্রিয়াটি স্বতঃস্ফূর্ত হবে কিনা নির্ণয় করো—দেওয়া আছে $\Delta H = -95{\cdot}4$ kJ, $\Delta S = -198{\cdot}3$ $J K^{-1}$

এখন $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ সমীকরণে মানগুলি বসিয়ে পাই

$$\Delta G = -95{\cdot}4 - 298 \times \frac{-198{\cdot}3}{1000} = -95{\cdot}4 + 59{\cdot}0 = -36{\cdot}4$$

যেহেতু ΔG এর মান নেগেটিভ হয় তাই 298 K উষ্ণতায় বিক্রিয়াটি স্বতঃস্ফূর্ত হবে।

● **ΔG নেগেটিভ হওয়ার শর্ত**—আমরা জানি $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$

(i) ΔH নেগেটিভ এবং ΔS পজিটিভ হলে, ΔG নেগেটিভ হয় এবং প্রক্রিয়াটি স্বতঃস্ফূর্ত হয়।

(ii) ΔH নেগেটিভ এবং ΔS নেগেটিভ হলে যদি ΔH-এর নেগেটিভ মান $T\Delta S$-এর নেগেটিভ মানের চেয়ে বেশি হয়, তাহলে ΔG নেগেটিভ হবে এবং প্রক্রিয়াটি স্বতঃস্ফূর্ত হবে।

(iii) ΔH পজিটিভ এবং ΔS পজিটিভ হলে, ΔG-এর মান নেগেটিভ হবে যদি $T\Delta S$-এর মান ΔH-এর বেশি হয়।

সংক্ষেপে বলা যায়—

ΔH (−ve)	ΔS (+ve) হলে	$\Delta G - ve$ (স্বতঃস্ফূর্ত হবে)
ΔH (+ve)	ΔS (+ve)	$\Delta G - ve$ (যদি $T\Delta S > \Delta H$)
ΔH (−ve)	ΔS (−ve)	$\Delta G - ve$ (যদি $\Delta H > T\Delta S$ হয়)

● **একটি প্রক্রিয়ার স্বাভাবিক বা স্বতঃস্ফূর্ত হওয়ার ক্ষেত্রে উষ্ণতার গুরুত্ব** (Importance of temperature on feasibility of a process) ঃ

গিবস ও হেলমোজের সমীকরণ নির্দিষ্ট উষ্ণতায় একটি প্রক্রিয়ার স্বতঃস্ফূর্ততার সম্বন্ধে জানায়। একটি বিক্রিয়া এক উষ্ণতায় স্বতঃস্ফূর্ত হতে পারে, আবার অন্য কোনো উষ্ণতায় স্বতঃস্ফূর্ত না হতে পারে। তাপমোচী এবং তাপগ্রাহী বিক্রিয়ার স্বতঃস্ফূর্ততার সম্বন্ধে উষ্ণতার প্রভাবের বিষয় নীচে আলোচনা করা হল।

(1) তাপগ্রাহী বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে— ΔH পজিটিভ, সুতরাং বিক্রিয়াটিকে স্বতঃস্ফূর্ত হতে হলে $T\Delta S$ কে পজিটিভ এবং ΔH-এর চেয়ে বেশি মানের হতে হবে। এখন উষ্ণতা বাড়ালে $T\Delta S$-এর মান দ্রুত বাড়তে থাকে কিন্তু ΔH-এর মান খুব বেশি একটি বাড়ে না। অপরদিকে তাপগ্রাহী বিক্রিয়ায়, উষ্ণতা কমার সাথে সাথে $T\Delta S$ এর মান কমতে থাকে এবং একটি উষ্ণতায় ওর মান ΔH-এর মানের চেয়ে কম হয়ে যায়। এই অবস্থায় ΔG-এর মান পজিটিভ হয়। ফলে বিক্রিয়াটি স্বতঃস্ফূর্ত হয় না। **সুতরাং তাপগ্রাহী বিক্রিয়াকে বেশি উষ্ণতায় ঘটালে বিক্রিয়াটি স্বতঃস্ফূর্ত হয়।**

(2) তাপমোচী বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে— ΔH সর্বদাই নেগেটিভ কিন্তু $T\Delta S$ পজিটিভ বা নেগেটিভ হতে পারে। সুতরাং, তাপমোচী বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে বিক্রিয়াটিকে স্বতঃস্ফূর্ত হতে হলে ΔH-এর মান $T\Delta S$ এর চেয়ে বেশি হতে হবে যখন $T\Delta S$-এর মান নেগেটিভ। বিক্রিয়ায় উষ্ণতা বাড়ালে $T\Delta S$-এর মান বাড়তে থাকে, কিন্তু ΔH-এর মান প্রায় একই থাকে। তাই বিক্রিয়াটিকে বেশি উষ্ণতায় ঘটালে ΔH-এর মানের চেয়ে $T\Delta S$-এর মান বেড়ে যায়। এই অবস্থায় ΔG পজিটিভ হয়, ফলে বিক্রিয়াটি স্বতঃস্ফূর্ত হয় না। সুতরাং তাপমোচী বিক্রিয়াকে কম উষ্ণতায় ঘটালে বিক্রিয়াটি স্বতঃস্ফূর্ততার অনুকূলে কাজ করে যখন $T\Delta S$ নেগেটিভ। তাপমোচী বিক্রিয়া যে কোনো উষ্ণতায় স্বতঃস্ফূর্ত হয়, যখন $T\Delta S$ পজিটিভ।

● **গাণিতিক উদাহরণ ঃ**

(1) প্রদত্ত বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে, $N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$, $\Delta H = -95{\cdot}4\text{kJ}$ এবং $\Delta S = -198{\cdot}3\text{JK}^{-1}$

যে উষ্ণতায় মুক্ত শক্তির পরিবর্তন $\Delta G = 0$ হবে সেই উষ্ণতাটি নির্ণয় করো এবং এই উষ্ণতায় ও এই উষ্ণতার উপরে বিক্রিয়ার প্রকৃতি কীরকম হবে বল।

Ans. $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$, দেওয়া আছে $\Delta G = 0$ বা, $\Delta H - T\Delta S = 0$ বা, $\Delta H = T\Delta S$

$$\text{বা, } T = \frac{\Delta H}{\Delta S} = \frac{-95{\cdot}4 \times 1000\text{J}}{-198{\cdot}3\text{JK}^{-1}} = 481\text{K}$$

এই উষ্ণতায় যেহেতু $\Delta G = 0$, সুতরাং বিক্রিয়াটি **সাম্য অবস্থায়** থাকবে, উষ্ণতা বাড়ালে যেহেতু $T\Delta S$ এর মান আরও বেড়ে যাবে ফলে ΔG পজিটিভ হবে এবং বিক্রিয়াটি স্বতঃস্ফূর্ত হবে না। বিক্রিয়াটিকে স্বতঃস্ফূর্ত করা যায় যদি উষ্ণতা 481 K-এর চেয়ে কম উষ্ণতায় ঘটানো হয়।

3.10. প্রমাণ মুক্তশক্তির পরিবর্তন ΔG° [Standard Free Energy change ΔG°]

প্রমাণ মুক্ত শক্তির পরিবর্তন হল, 298K উষ্ণতায় ও 1 atm চাপে একটি বিক্রিয়ার মুক্তশক্তির পরিবর্তন, যেখানে প্রমাণ অবস্থায় থাকা বিক্রিয়কগুলি প্রমাণ অবস্থায় থাকা বিক্রিয়াজাত পদার্থে পরিবর্তিত হয়।

প্রমাণ মুক্তশক্তির পরিবর্তন $\Delta G^\circ = \Sigma\Delta G_f^\circ$ (বিক্রিয়াজাত পদার্থ) – $\Sigma\Delta G_f^\circ$ (বিক্রিয়ক পদার্থ) … … (3.30)

= [বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলির গঠনের প্রমাণ মুক্তশক্তির সমষ্টি] – [বিক্রিয়ক পদার্থগুলির গঠনের প্রমাণ মুক্তশক্তির সমষ্টি]

কয়েকটি যৌগের গঠনের প্রমাণ মুক্তশক্তির পরিমাণ এখানে দেওয়া হল—

পদার্থ	ΔG° kJ mol^{-1} 298 K	পদার্থ	ΔG° kJ mol^{-1} 298 K	পদার্থ	ΔG° kJ mol^{-1} 298 K
Br_2 (g)	3·1	CO (g)	–137·3	NO (g)	86·6
Br (g)	82·4	CO_2 (g)	–394·4	NO_2 (g)	51·84
Br^- (aq)	–102·8	Cl (g)	105·4	NaCl (s)	–384·05
C (গ্রাফাইট)	0·0	H (g)	203·3	O (g)	230·1

পদার্থ	ΔG° kJ mol^{-1} 298 K	পদার্থ	ΔG° kJ mol^{-1} 298 K	পদার্থ	ΔG° kJ mol^{-1} 298 K
C (হীরক)	2·8	H_2O (l)	–237·2	P সাদা (s)	0·0
CH_4 (g)	–50·8	H_2O (g)	–228·6	P লাল (s)	–12·0
C_2H_6 (g)	–32·9	N_2 (g)	0·0	S (s)	0·0
C_6H_6 (l)	124·5	N (g)	455·6	H_2SO_4 (l)	–690·0

● প্রমাণ মুক্তশক্তি পরিবর্তনের সঙ্গে সাম্য-ধ্রুবক *(K)*-এর সম্পর্কটি নীচের সমীকরণ দ্বারা প্রকাশিত হয়—

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K \quad \text{বা,} \quad \boxed{\Delta G^\circ = -2{\cdot}303\, RT \log K} \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.31)$$

যেখানে, ΔG° = প্রমাণ মুক্ত শক্তির পরিবর্তন, K = সাম্য ধ্রুবক, T = উষ্ণতা, R = মোলার গ্যাস ধ্রুবক।

● **একটি সেলে সম্পাদিত বৈদ্যুতিক কার্যের সঙ্গে মুক্তশক্তি পরিবর্তনের সম্পর্ক ঃ**

তড়িৎ-রাসায়নিক কোশে, মুক্ত শক্তির পরিবর্তন ΔG-এর সঙ্গে, সম্পাদিত বৈদ্যুতিক কার্যের সম্পর্কটি নীচের সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা হয়

$$\Delta G = -n\,F\,E_{cell} \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.32)$$

E_{cell} = কোশের তড়িৎচালক বল, n = বৈদ্যুতিক কার্যে নিযুক্ত ইলেকট্রন-সংখ্যা এবং F = ফ্যারাডে।

বিক্রিয়ক ও বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলির প্রমাণ অবস্থায়, মুক্তশক্তির পরিবর্তন $\boxed{\Delta G^\circ = -nFE^\circ}$

যেখানে E° = প্রমাণ তড়িৎচালক বল।

● গাণিতিক উদাহরণ ঃ

(1) 25°C উষ্ণতায় বরফের গলনের জন্য $H_2O(s) \longrightarrow H_2O(l)$ গলনের এনথ্যালপি হল 6·97kJ mol^{-1} এবং গলনের এনট্রপি 25·4JK^{-1} mol^{-1} মুক্তশক্তির পরিবর্তন নির্ণয় করো এবং এই উষ্ণতায় বরফের গলন স্বতঃস্ফূর্ত কিনা বল।

Ans. 25°C উষ্ণতায় বরফের গলনের জন্য এনথ্যালপির পরিবর্তন, ΔH = 6·97 kJ mol^{-1},

এনট্রপির পরিবর্তন ΔS = 25·4 JK^{-1} mol^{-1} = 25·4 × 10^{-3} k JK^{-1} mol^{-1}

আমরা জানি, মুক্ত শক্তির পরিবর্তন $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$

বা, ΔG = 6·97 – 298 × 25·4 × 10^{-3} = 6·97 – 7·57 = **–0·6 kJ mol^{-1}**

যেহেতু ΔG-এর মান নেগেটিভ হয়, সুতরাং 25°C বা 298 K উষ্ণতায় বরফের গলন স্বতঃস্ফূর্ত হবে।

(2) 298 K উষ্ণতায় নীচের বিক্রিয়াটির মুক্তশক্তির পরিবর্তন নির্ণয় করো এবং বিক্রিয়াটি ঘটবে কিনা বল—

$$Br_2(l) + Cl_2(g) \longrightarrow 2\,BrCl(g)$$

298 K উষ্ণতায় ΔH = 29·3 kJ. Br(l), $Cl_2(g)$ এবং BrCl(g)-এর এনট্রপি ওই একই উষ্ণতায় যথাক্রমে 152·3 $JK^{-1}mol^{-1}$, 223·0 $JK^{-1}mol^{-1}$ এবং 239·7 $JK^{-1}mol^{-1}$

Ans. প্রদত্ত বিক্রিয়াটির জন্য ΔH = 29·3kJ = 29·3 × 1000 J

$\Delta S = S_{prod} - S_{ract}$ = 2 × S (BrCl) – [$S(Br_2)^-$+S (Cl_2)] = 2 × 239·7 – [152·3 + 223·0] = 104·1J

এখন, মুক্তশক্তির পরিবর্তন $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$

মানগুলি বসিয়ে, ΔG = 29·3 × 1000J –(298 × 104·1J) = –1721.8J

যেহেতু ΔG -এর মান নেগেটিভ হয় সুতরাং বিক্রিয়াটি 298K উষ্ণতায় ঘটবে।

(3) নীচের বিক্রিয়াগুলির ক্ষেত্রে এনট্রপির পরিবর্তন নির্ণয় করো।

(i) $2CO(g) + O_2(g) \longrightarrow 2CO_2(g)$; (ii) $2H_2(g) + O_2(g) \longrightarrow H_2O(l)$

বিভিন্ন পদার্থগুলির এনট্রপিগুলি হল, $CO(g)$ = 197·6$JK^{-1}mol^{-1}$, $O_2(g)$ = 205·03$JK^{-1}mol^{-1}$

$CO_2(g)$ = 213·6$JK^{-1}mol^{-1}$, $H_2(g)$ = 130·6$JK^{-1}mol^{-1}$, $H_2O(g)$ = 69·96$JK^{-1}mol^{-1}$

Ans. (i) $2CO(g) + O_2(g) \longrightarrow 2CO_2$ (g) $\Delta S^\circ = \sum S^\circ$ (বিক্রিয়াজাত পদার্থ) $-\sum S^\circ$ (বিক্রিয়ক পদার্থ)

বা, $\Delta S^\circ = 2S^\circ\,[CO_2(g)] - [2S^\circ\{CO(g)\} + S^\circ\,\{O_2(g)\}]$

= 2(213·6) – [2 × (197·6) + (205·03)] = 427·2 – 600·23 = – 173·03 $JK^{-1}mol^{-1}$

(ii) $2H_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2H_2O(l)$ $\Delta S^\circ = [2S^\circ\{H_2O(l)\}] - [2S^\circ\{H_2(g) + S^\circ\{O_2(s)\}]$
$= [2 \times 69{\cdot}96] - [2 \times 130{\cdot}6 + 205{\cdot}03] = 139{\cdot}92 - 466{\cdot}23 = -326{\cdot}31 JK^{-1}mol^{-1}$

(4) 298 K উষ্ণতায় এবং 1 atm চাপে নীচের বিক্রিয়াটির সাম্য ধ্রুবকের মান নির্ণয় করো।
$NO(g) + 1/2\ O_2(g) \longrightarrow NO_2(g)$ *দেওয়া আছে* 298K *উষ্ণতায়* ΔH° *হল* $NO(g) = 90{\cdot}4\ kJmol^{-1}$, $NO_2(g) = 33{\cdot}8\ kJmol^{-1}$, *বিক্রিয়ার* $\Delta S^\circ = -70 JK^{-1}mol^{-1}$ $R = 8{\cdot}31 JK^{-1}mol^{-1}$

Ans. বিক্রিয়াটির জন্য এনথ্যাপলির পরিবর্তন $\Delta H = \sum\Delta H_f^\circ$ (বিক্রিয়াজাত পদার্থ) $-\sum\Delta H_f^\circ$ (বিক্রিয়ক পদার্থ)
$= [\Delta H_f^\circ NO_2(g)] - [\Delta H_f NO(g) + {}^1/_2\ \Delta H_f O_2(g)]$
$= 33{\cdot}8 - [90{\cdot}4 + 1/2 \times 0] = -56{\cdot}6\ kJ\ mol^{-1}$; $\Delta S^\circ = -70\ JK^{-1}mol^{-1}$, এখানে $T = 298K$
এখন, $\Delta G = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ$ সমীকরণে মানগুলি বসিয়ে,
$\Delta G = -56{\cdot}6 \times 1000\ Jmol^{-1} - 298\ K \times (-70\ JK^{-1}mol^{-1})$
$= -56600\ Jmol^{-1} - [298 \times (-70)\ Jmol^{-1}] = -35740\ Jmol^{-1}$
এখন $\Delta G^\circ = -2{\cdot}303\ RT \log K$ (K = সাম্য ধ্রুবক)
বা. $\log K = \frac{\Delta G}{-2{\cdot}303RT} = \frac{-35740}{-2{\cdot}303 \times 8{\cdot}31 \times 298}$
বা, $\log K = 6{\cdot}267$ বা, $\log K = \log 1{\cdot}85 \times 10^6$ বা, $K = 1{\cdot}85 \times 10^6$

(5) 10g আর্গনের সমোষ্ণ এবং প্রত্যাবর্তক প্রক্রিয়ায় 27°C উষ্ণতায় 10 লিটার থেকে 5 লিটারে আয়তন সংকোচন করা হল। প্রক্রিয়াটির জন্য q, w, ΔE এবং ΔH নির্ণয় করো। $R = 2{\cdot}0\ cal\ K^{-1}\ mol^{-1}$, $\log 2 = 0{\cdot}30$, $Ar = 40$।

Ans. 10 g আর্গনের মোল সংখ্যা $n = \frac{10}{40} = 0{\cdot}25$ এখন, সমোষ্ণ এবং প্রত্যাবর্তক প্রক্রিয়ায় কৃত কার্য
$W = -2{\cdot}303\ nRT \log \frac{V_2}{V_1}$ এখানে $R = 2\ cal\ K^{-1}mol^{-1}$, $n = 0{\cdot}25$, $T = 27 + 273 = 300K$
মানগুলি বসিয়ে পাই, কৃত কার্য $W = -2{\cdot}303 \times 0{\cdot}25 \times 2 \times 300 \log \frac{5}{10} = 103{\cdot}99$ cal
সমোষ্ণ পদ্ধতিতে $\Delta E = 0$ হয়, এখন $\Delta E = q + W$ বা, $0 = q + w$ বা, $q = -w = \mathbf{-103{\cdot}99\ cal}$

(6) 100°C উষ্ণতায় 90g জলের সমোষ্ণ এবং প্রত্যাবর্তক প্রক্রিয়ায় বাষ্পীভবনে ΔH এবং ΔE এর মান নির্ণয় করো। ধরে নাও বাষ্প আদর্শ গ্যাসের মতো ব্যবহার করে। জলের বাষ্পীভবন তাপ 540 cal g⁻¹ $R = 2{\cdot}0\ cal\ mol^{-1}$.

Ans. তাপের মোট পরিবর্তন $\Delta H = 90 \times 540 = 48600$ cal
$\Delta H = \Delta E + P\Delta V$; এখানে $\Delta V = V_{বাষ্প} - V_{তরল} = V_{বাষ্প}$ ($\because V_{বাষ্প}$-এর তুলনায় $V_{তরল}$ নগণ্য)।
$\Delta H = \Delta E + PV_{বাষ্প} = \Delta E + nRT$ এখানে মোল সংখ্যা $n = \frac{90}{18} = 5$, $R = 2$, $T = 373K$
$\therefore \Delta H = \Delta E + 5 \times 2 \times 373$ বা $\Delta H = \Delta E + 3730$
$\Delta E = \Delta H - 3730 = 48600 - 3730 = 44870$ cal

(7) কোনটি ভালো জ্বালানি—CH₄ না C₂H₆? CH₄, C₂H₆, CO₂ এবং H₂O-এর প্রমাণ গঠন এনথ্যালপি হল যথাক্রমে –74·8, –84·6, –393·5 এবং –286 kJmol⁻¹

Ans. বিক্রিয়াটি $CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(l)$ CH_4-এর গ্রামমোল = 16g
CH_4-এর দহনের এনথ্যালপি $\Delta H = \Delta H^\circ$ (বিক্রিয়াজাত পদার্থ) $-\Delta H^\circ$ (বিক্রিয়ক পদার্থ)
$= (\Delta H^\circ\ CO_2 + 2\Delta H^\circ\ H_2O) - (\Delta H^\circ\ CH_4 + 2\Delta H^\circ\ O_2)$
$= [-393{\cdot}5 + 2(-286)] - [-74{\cdot}8 + 2 \times 0] = -890{\cdot}7\ kJ\ mol^{-1}$
1 g মিথেনের দহনে উৎপন্ন তাপ $= \frac{890{\cdot}7}{16} = 55{\cdot}67kJ$
C_2H_6-এর দহনের এনথ্যালপি $C_2H_6(g) + 7/2\ O_2(g) \rightarrow 2CO_2(g) + 3H_2O(l)$
$\Delta H = [2\Delta H_f^\circ(CO_2)(g) + 3\Delta H_f^\circ(H_2O)(l)] - [\Delta H_f^\circ(C_2H_6)(g) + 7/2\ \Delta H_f^\circ(O_2)(g)]$

$= [2 \times (-393{\cdot}5) + 3 \times (-286)] - [-84{\cdot}6 + 7/2 \times 0] = -1560\ kJ\ mol^{-1}$

সুতরাং ইথেনের প্রতি গ্রামে উৎপন্ন তাপ = $\frac{-1560{\cdot}4}{30} = 52{\cdot}01\ kJ$

দেখা গেল প্রতি গ্রামে ইথেনের চেয়ে মিথেনের উৎপন্ন তাপ বেশি, তাই মিথেন, ইথেনের চেয়ে ভালো জ্বালানি।

(8) বিক্রিয়াটি সম্ভব কিনা বল (উষ্ণতা 300 K)। $2CuO(s) \longrightarrow Cu_2O(s) + 1/2\ O_2(g)$

$\Delta H = 144{\cdot}6\ kJmol^{-1}$ এবং $\Delta S = 0{\cdot}116\ kJmol^{-1}$

Ans. আমরা জানি $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$

বা, $\Delta G = (144{\cdot}6 - 300 \times 0{\cdot}116)\ kJ\ mol^{-1} = (144{\cdot}6 - 34{\cdot}8)\ kJ\ mol^{-1} = \mathbf{+\ 109{\cdot}8\ kJ\ mol^{-1}}$

যেহেতু ΔG এর মান পজিটিভ সুতরাং 300 K উষ্ণতায় বিক্রিয়াটি ঘটবে না।

(9) $Ag_2O(s) \rightarrow 2Ag(s) + 1/2O_2(g)$—বিক্রিয়াটির ΔH এবং ΔS যথাক্রমে $30{\cdot}56\ kJ\ mol^{-1}$ এবং $66\ Jk^{-1}$. কোন্ উষ্ণতায় বিক্রিয়াটির মুক্ত শক্তির পরিবর্তন 0 হবে? এই উষ্ণতায় উপরে বা নীচে বিক্রিয়াটি স্বতঃস্ফূর্ত হবে কিনা বল।

Ans. আমরা জানি $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ সাম্য অবস্থায় $\Delta G = 0$ হয়

সুতরাং $0 = \Delta H - T\Delta S$ বা, $\Delta H = T\Delta S$ বা, $T = \frac{\Delta H}{\Delta S}$

দেওয়া আছে, $\Delta H = 30{\cdot}56\ kJ\ mol^{-1} = 30560\ J\ mol^{-1}$. $\Delta S = 66\ JK^{-1}\ mol^{-1}$

$\therefore\ T = \frac{30560}{66} = 463\ K.$

বিক্রিয়াটিতে ΔH এবং $T\Delta S$ উভয়ই পজিটিভ, সুতরাং 463 K উষ্ণতার উপরে $T\Delta S$-এর মান আরও বেড়ে যাবে অর্থাৎ ΔH এর চেয়ে $T\Delta S$ এর মান বেশি হবে ফলে ΔG নেগেটিভ হবে এবং বিক্রিয়াটি স্বতঃস্ফূর্ত হবে।

(10) 400 K উষ্ণতায় প্রদত্ত বিক্রিয়াটির সাম্য ধ্রুবকের মান নির্ণয় করো—$NOCl(g) = 2NO(g) + Cl_2(g)$. $\Delta H = +77{\cdot}2\ kJ\ mol^{-1}$ এবং $\Delta S = +\ 122\ JK^{-1}\ mol^{-1}$.

Ans. $\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ$ সমীকরণে মানগুলি বসিয়ে—

$\Delta G^\circ = +77{\cdot}2\ kJ\ mol^{-1} - 400\ K \times +122\ JK^{-1}\ mol^{-1}$

$= 77200\ J\ mol^{-1} - 48800\ J\ mol^{-1} = 28400\ J\ mol^{-1}$

এখন $G^\circ = RT \log K$ সমীকরণে মানগুলি বসিয়ে

$28400 = 8{\cdot}314\ J\ K^{-1}\ mol^{-1} \times 400\ K \times 2{\cdot}303 \log K$

বা, $\log K = -3{\cdot}708$ বা, $\log K = \log 1{\cdot}96 \times 10^{-4}$ বা, $K = 1{\cdot}96 \times 10^{-4}$.

● রাসায়নিক গতিতত্ত্ব ●

(Chemical Dynamics)

সূচনা (Introduction) ঃ

রাসায়নিক গতিতত্ত্ব হল রসায়নের একটি শাখা যেখানে রাসায়নিক বিক্রিয়ার গতিবেগ বা বিক্রিয়ার হারের বিষয় আলোচনা করা হয়। একটি রাসায়নিক বিক্রিয়া স্বতঃস্ফূর্ত হবে কিনা, রাসায়নিক শক্তি বিজ্ঞানের গিবসের মুক্তশক্তি থেকে আমরা জানতে পারলেও প্রক্রিয়াটি সম্পূর্ণ হতে কত সময় লাগবে যে সম্বন্ধে রাসায়নিক শক্তি বিজ্ঞান আমাদের জানাতে অক্ষম। রাসায়নিক গতিতত্ত্ব কিন্তু এবিষয়ে আমাদের জানাতে সফল হয়েছে। এছাড়া একটি বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ বিষয় যা এই রাসায়নিক গতিতত্ত্ব থেকে জানা যায়, তা হল রাসায়নিক বিক্রিয়ার ক্রিয়াকৌশল। এছাড়া বিভিন্ন বিষয়গুলি, যেমন, গাঢ়ত্ব, উষ্ণতা, অনুঘটক ইত্যাদি, কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ায় গতিবেগকে কীভাবে প্রভাবিত করে সে সম্বন্ধেও রাসায়নিক গতিতত্ত্ব আমাদের জানায়।

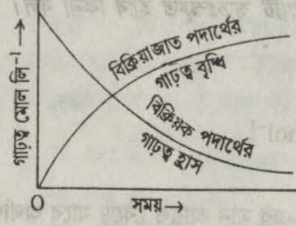
3.11. গাঢ়ত্ব, চাপ, উষ্ণতা, অনুঘটক ইত্যাদির উপর রাসায়নিক বিক্রিয়ার হারের নির্ভরশীলতা [Dependence of reaction rates with concentration, pressure, temperature, catalyst etc.]

রাসায়নিক বিক্রিয়ার গতির হার নীচের বিষয়গুলির দ্বারা প্রভাবিত হয়—

(i) বিকারকগুলির গাঢ়ত্ব এবং (গ্যাসীয় হলে) আংশিক চাপের উপর, (ii) বিক্রিয়কের প্রকৃতির উপর (ভৌত অবস্থা, কণার আকার ইত্যাদি), (iii) সিস্টেমের উষ্ণতার উপর, (iv) অনুঘটকের উপস্থিতির উপর।

(1) বিক্রিয়কগুলির গাঢ়ত্বের উপর কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ার গতিবেগের হার নির্ভর করে। লক্ষ করা গেছে যে কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ায়, সময়ের সঙ্গে সঙ্গে বিক্রিয়কগুলির বিক্রিয়ার হার ক্রমশ কমতে থাকে। বিক্রিয়াটি এগিয়ে যাওয়ার সাথে সাথে বিক্রিয়কগুলি বিক্রিয়াজাত পদার্থে রূপান্তরিত হতে থাকে, ফলে বিক্রিয়কগুলির গাঢ়ত্ব ক্রমে কমতে থাকে এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলির গাঢ়ত্ব বাড়তে থাকে। ঘটনাটি নীচে লেখচিত্রের সাহায্যে দেখান হল।

এই লেখ পর্যবেক্ষণ করে বলা যায়—(i) বিক্রিয়ার আরম্ভে (যখন সময় $t = 0$), কেবল বিক্রিয়কগুলি উপস্থিত থাকার জন্য ওদের গাঢ়ত্ব সর্বোচ্চ থাকে এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থের গাঢ়ত্ব = 0 থাকে। বিক্রিয়া চলার সাথে সাথে বিক্রিয়কগুলি নিজেদের মধ্যে বিক্রিয়া করে বিক্রিয়াজাত পদার্থে পরিণত হতে থাকে। এর ফলে বিক্রিয়কের গাঢ়ত্ব কমতে থাকে এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থের গাঢ়ত্ব বাড়তে থাকে। (ii) বিক্রিয়ার প্রথম অবস্থায় বিভিন্ন উপাদানগুলির গাঢ়ত্বের পরিবর্তন দ্রুত ঘটতে থাকে, কিন্তু শেষের দিকে গাঢ়ত্বের পরিবর্তন অত্যন্ত ধীরগতিতে হতে থাকে।



চিত্র 3.9

এই ঘটনা থেকে বলা যায় যে, বিক্রিয়ার আরম্ভে সম্মুখ বিক্রিয়ার হার খুব বেশি হয় এবং যত সময় যায় বিক্রিয়ার হার ক্রমশ কমতে থাকে এবং শেষের দিকে সম্মুখ বিক্রিয়ার হার খুবই কমে যায়। এর দ্বারা বোঝা যায় যে, কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ার হার বিক্রিয়কগুলির গাঢ়ত্বের সমানুপাতিক হয়। সুতরাং বলা যায় যে, কোনো বিক্রিয়ার গতির হার বিক্রিয়কের গাঢ়ত্বের উপর নির্ভর করে।

পরীক্ষা করে দেখা গেছে বায়ুতে 20% O_2-এর উপস্থিতিতে কার্বনের দহন ধীর গতিতে ঘটে, কিন্তু 100% O_2-এর উপস্থিতিতে C-এর দহন দ্রুতগতিতে ঘটতে থাকে।

গ্যাসীয় বিক্রিয়কগুলির ক্ষেত্রে বিক্রিয়ক গ্যাসগুলির চাপ বৃদ্ধি করলে বিক্রিয়ার হার বেড়ে যায়, কারণ চাপ বৃদ্ধিতে একক আয়তনে বিক্রিয়কের অণুর সংখ্যা বেড়ে যায় অর্থাৎ গাঢ়ত্ব বাড়ে তাই বিক্রিয়ার হার বাড়ে।

(2) বিক্রিয়কের প্রকৃতির উপর— একটি বিক্রিয়ার হার—(i) বিক্রিয়কের ভৌত অবস্থা, (ii) বিক্রিয়ক কণাগুলির আকার এবং (iii) বিক্রিয়কের রাসায়নিক প্রকৃতির উপর নির্ভর করে।

(i) **বিক্রিয়কের ভৌত অবস্থা**—যেহেতু রায়াসনিক বিক্রিয়া, বিক্রিয়ক কণাগুলির পারস্পরিক সংঘর্ষ ছাড়া সম্পন্ন হয় না—তাই বিক্রিয়কের কণাগুলিকে পরস্পরের সংস্পর্শে আসতে হবে। দ্রবণে থাকা অবস্থায় অথবা গ্যাসীয় অবস্থায় বিক্রিয়কের কণাগুলি পরস্পরের সঙ্গে ঘনিষ্ঠ সংস্পর্শে আসতে পারে, তাই বিক্রিয়ার হার বেশি হয়, কিন্তু কঠিন বিক্রিয়কের ক্ষেত্রে যেহেতু কঠিন কণাগুলি চলাফেরা করতে পারে না তাই তাদের কণাগুলির পরস্পরের সাথে সংঘর্ষের সম্ভাবনাও খুবই কম থাকে। তবে কঠিন ও তরলের বিক্রিয়ায় বা কঠিন গ্যাসের বিক্রিয়ায় কঠিন কণাগুলির আকার খুব সূক্ষ্ম হলে, বিক্রিয়া অপেক্ষাকৃত দ্রুত হারে ঘটে।

(ii) **কণার আকার**—বিশেষ করে কঠিন বিক্রিয়কগুলির ক্ষেত্রে বিক্রিয়কের কণার আকার খুবই ছোটো হওয়া প্রয়োজন। কণাগুলির আকার যত ক্ষুদ্র হবে বিক্রিয়ার হারও তত বৃদ্ধি পাবে। উদাহরণ স্বরূপ বলা যায় যে, কয়লার একটি বড়ো খন্ড বাতাসে সাধারণভাবে জ্বলতে থাকে। কিন্তু দেখা যায় কয়লার খন্ডটিকে খুব গুঁড়ো করে বায়ুর মধ্যে জ্বালালে, বিস্ফোরণ সহ ওই গুঁড়া জ্বলতে থাকে এবং বিক্রিয়ার হার বহুগুণ বেড়ে যায়। বিক্রিয়কগুলির মধ্যে বিক্রিয়া ঘটাতে হলে কঠিন বিক্রিয়ক কণাগুলির তল ক্ষেত্রফল যত বেশি হয় বিক্রিয়ার হারও তত বৃদ্ধি পায়।

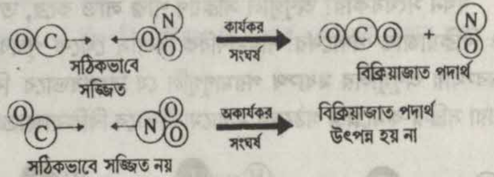
(3) উষ্ণতার প্রভাব ঃ কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ার হারকে উষ্ণতা খুব বেশি প্রভাবিত করে। বেশির ভাগ বিক্রিয়ার ক্ষেত্রেই উষ্ণতা বৃদ্ধির সাথে সাথে বিক্রিয়ার হার বেড়ে যায়। দেখা গেছে, সাধারণত কোনো বিক্রিয়ার হার প্রতি 10°C উষ্ণতা বৃদ্ধিতে প্রায় দ্বিগুণ বেড়ে যায়। উষ্ণতা বৃদ্ধিতে বিক্রিয়ার হারের বৃদ্ধি ঘটে কেন—রাসায়নিক বিক্রিয়ার সংঘর্ষ তত্ত্বের সাহায্যে তা ব্যাখ্যা করা যায়। উষ্ণতা বৃদ্ধির সাথে সাথে অণুগুলির গড় বেগ বেড়ে যায়। যার ফলে অণু-অণুর সংঘর্ষের সংখ্যা বেড়ে যায় অর্থাৎ একক সময় সংঘর্ষ সংখ্যা বাড়ে। একক সময়ে সংঘর্ষ সংখ্যা পরম উষ্ণতার বর্গমূলের সমানুপাতিক হয়। উষ্ণতা বৃদ্ধির সাথে বিক্রিয়ার হারের বৃদ্ধি কীভাবে ঘটে একটি উদাহরণের সাহায্যে বোঝান হল—ধরি, একটি বিক্রিয়ার উষ্ণতা 300 K থেকে বাড়িয়ে 310 K করা হল। প্রতি সেকেন্ডে সংঘর্ষ সংখ্যা $Z = \sqrt{T}$, T পরম উষ্ণতা। দুই উষ্ণতাতে সংঘর্ষ সংখ্যার অনুপাত

$= Z_{310}/Z_{300} = \sqrt{\frac{310}{300}} = 1.016$. এর দ্বারা বোঝা যায় যে উষ্ণতা বৃদ্ধির সাথে সাথে সংঘর্ষ সংখ্যা বাড়ে বলে বিক্রিয়ার হারের বৃদ্ধি ঘটে।

বিক্রিয়ক পদার্থের একক আয়তনে উপস্থিত অণুগুলির মধ্যে প্রতি সেকেন্ডে যত সংখ্যক সংঘর্ষ ঘটে তাকে সংঘর্ষ গুণাঙ্ক (z) বলে। সাধারণ চাপ ও উষ্ণতায় কোনো বিক্রিয়কের সংঘর্ষ গুণাঙ্কের (z) মান বেশি হলেও, বিক্রিয়ক অণুগুলির মধ্যে ঘটা সব সংঘর্ষই কার্যকর হয় না, অর্থাৎ সব সংঘর্ষেই বিক্রিয়াজাত পদার্থ উৎপন্ন হয় না। যে সংঘর্ষগুলি ঘটার ফলে বিক্রিয়াজাত পদার্থ উৎপন্ন হয়, কেবল সেই সংঘর্ষগুলিকেই **কার্যকর সংঘর্ষ** বলা হয়।

● **বিক্রিয়ক অণুগুলির মধ্যে কার্যকর সংঘর্ষ ঘটাতে হলে দুটি বাধা (Barrier) অতিক্রম করতে হবে।**

(i) বিক্রিয়ক অণুগুলির মধ্যে কার্যকর সংঘর্ষ ঘটাতে হলে বিক্রিয়ক অণুগুলিকে সঠিকভাবে সজ্জিত হতে হবে অর্থাৎ বিক্রিয়ক অণুগুলিকে নিজেদের মধ্যে এমনভাবে বিন্যস্ত হতে হবে যাতে করে বিক্রিয়ক অণুগুলির মধ্যস্থ যে পরমাণুগুলি পরস্পর যুক্ত হয়ে বিক্রিয়াজাত পদার্থে পরিণত হবে, সেই পরমাণুগুলির মধ্যে যেন মুখোমুখি সংঘর্ষ ঘটতে পারে। $NO_2 + CO \rightarrow NO + CO_2$—এই বিক্রিয়াটির ক্ষেত্রে ঘটনাটি 3.10 চিত্রের সাহায্যে দেখানো হল।

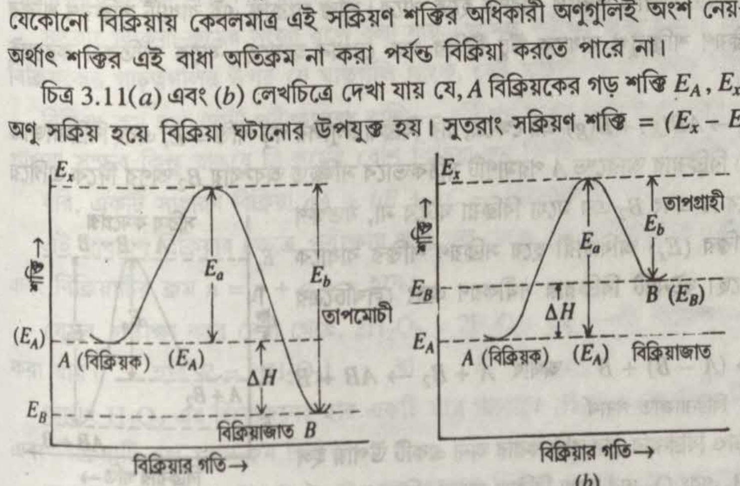


চিত্র 3.10

(ii) বিক্রিয়ক অণুগুলির মধ্যে সংঘর্ষ ঘটিয়ে অণুগুলির মধ্যস্থ বন্ধনগুলিকে ছিন্ন করার জন্য অণুগুলিকে কমপক্ষে একটি নির্দিষ্ট উচ্চ শক্তির (E_x) অধিকারী হতে হবে। সুতরাং বিক্রিয়ক অণুগুলির মধ্যে সংঘর্ষের ফলে বিক্রিয়াজাত অণুর সৃষ্টি হবে তখনই, যখন বিক্রিয়ক অণুগুলির শক্তি এই নির্দিষ্ট (E_x) শক্তি স্তরের সমান বা তার বেশি হয়। এই শক্তি স্তরের মান বিভিন্ন বিক্রিয়কের ক্ষেত্রে বিভিন্ন হয়। এখন যেকোনো অবস্থায় প্রতিটি অণুর নিজস্ব একটি **গড়শক্তি** (E_A) থাকে—বিভিন্ন অণুর গড়শক্তি বিভিন্ন হয়।

কোনো অণু গড়শক্তির অতিরিক্ত যতটা শক্তির অধিকারী হলে অণুটি ওই E_x শক্তিস্তরের সমান শক্তি অর্জন করে সক্রিয় হয়ে বিক্রিয়া ঘটানোর উপযুক্ত হয়, সেই অতিরিক্ত পরিমাণ শক্তিকে সক্রিয়ণ শক্তি (Activation energy) (E_a) বলা হয়। যেকোনো বিক্রিয়ায় কেবলমাত্র এই সক্রিয়ণ শক্তির অধিকারী অণুগুলিই অংশ নেয়—অপর অণুগুলি সক্রিয় না হওয়া পর্যন্ত অর্থাৎ শক্তির এই বাধা অতিক্রম না করা পর্যন্ত বিক্রিয়া করতে পারে না।

চিত্র 3.11(a) এবং (b) লেখচিত্রে দেখা যায় যে, A বিক্রিয়কের গড় শক্তি E_A, E_x হল যে শক্তির অধিকারী হলে বিক্রিয়কের অণু সক্রিয় হয়ে বিক্রিয়া ঘটানোর উপযুক্ত হয়। সুতরাং সক্রিয়ণ শক্তি $= (E_x - E_A)$, বিক্রিয়াজাত পদার্থের গড় শক্তি E_B, যা E_A-এর চেয়ে কম বা বেশি হতে পারে। যে বিক্রিয়ায় বিক্রিয়াজাত পদার্থ থেকে মুক্ত তাপ সক্রিয়ণ শক্তি E_a-এর চেয়ে বেশি সেই বিক্রিয়াটি তাপমোচী হয়। বিক্রিয়ার পরে বিক্রিয়াজাত পদার্থ থেকে মুক্ত তাপ সক্রিয়ণ শক্তি E_a-এর কম হলে বিক্রিয়াটি তাপগ্রাহী হয়।



চিত্র 3.11

লেখচিত্রে দেখা যায় বিক্রিয়ক A-এর অণুগুলির গড়শক্তি E_A, বিক্রিয়কের অণুগুলির সক্রিয় হয়ে বিক্রিয়া ঘটানোর উপযুক্ত হতে হলে অণুগুলিকে কমপক্ষে E_x শক্তি স্তরে উন্নীত হতে হবে অর্থাৎ অণুগুলিকে নিজ নিজ গড় শক্তির চেয়ে $(E_x - E_A) = E_a$ পরিমাণ অতিরিক্ত শক্তির অধিকারী হতে হবে। এই E_a পরিমাণ শক্তিই হল বিক্রিয়কের সক্রিয়ণ শক্তি। সুতরাং দেখা গেল বিক্রিয়কের যেসব অণুর শক্তি $= E_x$ বা E_x-এর বেশি তারাই কেবল বিক্রিয়া করবে।

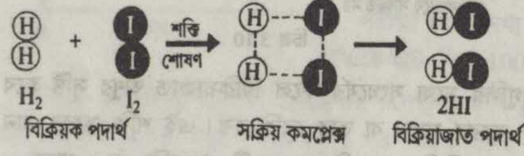
এই উষ্ণতায় বিক্রিয়াজাত পদার্থ B-এর গড়শক্তি $= E_B$. সুতরাং উৎপন্ন হওয়ার পর, B থেকে সেই অতিরিক্ত শক্তিটুকু

$E_x - E_B = E_b$ মুক্ত হয়ে যাবে। $E_b > E_a$ হলে তাপমুক্ত হয় এবং বিক্রিয়াটি তাপমোচী হয়। আবার $E_b < E_a$ হলে তাপশোষিত হবে এবং বিক্রিয়াটি তাপগ্রাহী হবে।

প্রতিটি বিক্রিয়ার জন্য বিক্রিয়কের সক্রিয়ণ শক্তি E_a-এর মান নির্দিষ্ট থাকে। এই সক্রিয়ণ শক্তিই ঠিক করে দেয় মোট সংঘর্ষ সংখ্যার কত ভগ্নাংশ কার্যকর সংঘর্ষ হবে। সুতরাং কোনো বিক্রিয়ায় সক্রিয়ণ শক্রির পরিমাণ কম হলে বুঝতে হবে যে অণুগুলির বেশির ভাগই সক্রিয়ণ শক্তির অধিকারী এবং কার্যকর সংঘর্ষের সংখ্যাও অপেক্ষাকৃত বেশি হবে এবং বিক্রিয়াটি দ্রুত হারে ঘটবে। অপরদিকে যদি কোনো বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তির পরিমাণ বেশি হয়, তাহলে কার্যকর সংঘর্ষের সংখ্যা কম হবে এবং বিক্রিয়াটি খুব ধীর গতিতে হবে।

সক্রিয়ণ শক্তির পরিমাণ কম হলে $\rightarrow$ দ্রুতহারে বিক্রিয়াটি ঘটবে
সক্রিয়ণ শক্তির পরিমাণ বেশি হলে $\rightarrow$ খুব ধীরগতিতে বিক্রিয়াটি ঘটবে।

যখন সংঘর্ষকারী অণুগুলি সক্রিয়ণ শক্তি লাভ করে, তখন বিক্রিয়ক পদার্থের অণুর মধ্যস্থ পরমাণুগুলির বিন্যাস, বিক্রিয়ক ও বিক্রিয়াজাত পদার্থের পারমাণবিক বিন্যাস থেকে পৃথক হয়। অণুগুলির এই অবস্থাকে বলা হয় সক্রিয় অবস্থা এবং এই অবস্থায় অণুগুলির মধ্যস্থ পরমাণুগুলি যে বিশেষভাবে বিন্যস্ত হয় তাকে **সক্রিয়-কমপ্লেক্স** বলে। H_2 এবং I_2 এবং বিক্রিয়া দ্বারা সক্রিয়-কমপ্লেক্স গঠনের মাধ্যমে কীভাবে বিক্রিয়াজাত পদার্থ HI উৎপন্ন হয় চিত্রের সাহায্যে দেখান হল। সক্রিয়-কমপ্লেক্স হল সিস্টেমের একটি খুবই অস্থায়ী সন্ধি-অবস্থা। এই অবস্থা থেকে সক্রিয় কমপ্লেক্স বিশ্লিষ্ট হয়ে অপেক্ষাকৃত কম শক্তির অধিকারী হওয়ার জন্য বিক্রিয়াজাত পদার্থে পরিণত হয়।

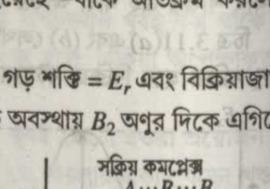


চিত্র 3.12

সক্রিয়ণ-শক্তি তত্ত্ব অনুযায়ী বিক্রিয়ক পদার্থ সরাসরি বিক্রিয়াজাত পদার্থে পরিণত হতে পারে না। প্রথমে বিক্রিয়ক পদার্থ সক্রিয়ণ শক্তির সমান শক্তি শোষণ করে সক্রিয়-কমপ্লেক্সে পরিণত হয়। এই অবস্থায় বিক্রিয়ক অণুগুলিকে কমপক্ষে E_x পরিমাণ শক্তি বা ওর বেশি শক্তির অধিকারী হতে হয়।

এর দ্বারা বোঝায় যে প্রতিটি বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে বিক্রিয়ক অণুগুলির **শক্তি সংক্রান্ত একটি বাধা** (Energy Barrier) থাকে, যাকে অতিক্রম করলে পর বিক্রিয়ক পদার্থ বিক্রিয়াজাত পদার্থে পরিণত হতে পারে। শক্তি সংক্রান্ত এই বাধাটি **সক্রিয়ণ শক্তির বাধা** রূপে পরিচিত। লেখচিত্রে এই সক্রিয়ণ শক্তিরূপ বাধাকে উঁচু টিপির মত দেখান হয়েছে—যাকে অতিক্রম করলেই বিক্রিয়াজাত পদার্থে পরিণত হওয়া যায়।

একটি সাধারণ বিক্রিয়া $A(g) + B_2(g) \rightarrow AB(g) + B(g)$-এর ক্ষেত্রে, ধরি বিক্রিয়কগুলির গড় শক্তি $= E_r$ এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলির গড় শক্তি $= E_p$, উভয়ের মধ্যে বিক্রিয়ার আরম্ভে A পরমাণুটি সঠিকভাবে সজ্জিত অবস্থায় B_2 অণুর দিকে এগিয়ে যায় এবং উভয়ের মধ্যে সংঘর্ষ ঘটে। তবে A এবং B_2 এর মধ্যে বিক্রিয়া ঘটবে না, যতক্ষণ পর্যন্ত না A এবং B_2 উভয়ই সক্রিয়ণ শক্তির (E_x) অধিকারী হয়ে সক্রিয়ণ শক্তির বাধাকে অতিক্রম করে সক্রিয়-কমপ্লেক্স সৃষ্টি করছে। ঘটনাটি বিক্রিয়ার সমীকরণ এবং লেখচিত্রের সাহায্যে দেখানো হল—



চিত্র 3.13

$$A + (B - B) \rightarrow (A \cdots\cdots B \cdots\cdots B) \rightarrow (A - B) + B \quad \text{অর্থাৎ} \quad A + B_2 \rightarrow AB + B$$

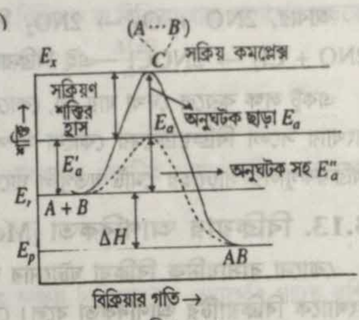
বিক্রিয়ক   সক্রিয়-কমপ্লেক্স   বিক্রিয়াজাত পদার্থ

(4) অনুঘটক (Catalyst) : উষ্ণতা ছাড়াও বিক্রিয়ার হার বৃদ্ধি করার অন্য একটি উপায় হল অনুঘটক। দেখা যায় যে, সাধারণ উষ্ণতায় H_2 এবং O_2-এর মধ্যে বিক্রিয়া হয় না। কিন্তু Pt চূর্ণের উপস্থিতিতে H_2 এবং O_2 পরস্পরের সঙ্গে তীব্রভাবে বিক্রিয়া করে H_2O তে পরিণত হয়। কোনো বিক্রিয়ায় অনুঘটক উপস্থিত থেকে বিক্রিয়কগুলির সক্রিয়ণ শক্তির পরিমাণ অনেকটা কমিয়ে দেয়, ফলে সক্রিয়-কমপ্লেক্সের শক্তি অপেক্ষাকৃত কম হয় এবং বিক্রিয়ক পদার্থ সহজেই সক্রিয়-কমপ্লেক্সে পরিণত হতে পারে। অনুঘটকের উপস্থিতিতে বিক্রিয়কগুলিকে অপেক্ষাকৃত কম শক্তির বাধা অতিক্রম করতে হয় বলে বিক্রিয়কগুলি সহজেই সক্রিয়-কমপ্লেক্সে পরিণত হতে পারে।

$A + B \longrightarrow AB$। এই বিক্রিয়াটির ক্ষেত্রে অনুঘটকের ক্রিয়া দেখানো হল—

$A + B + C$ (অনুঘটক) $\longrightarrow$ A----B (সক্রিয়-কমপ্লেক্স, C যুক্ত) $\longrightarrow AB$ + C (অনুঘটক)

বিক্রিয়ক — সক্রিয়-কমপ্লেক্স — বিক্রিয়াজাত



চিত্র 3.14

অনুঘটকের কার্যপ্রণালী ক্ষেত্রে নীচের বিষয়গুলি জানা প্রয়োজন—

(i) বিক্রিয়ায় অনুঘটকের অন্তর্বর্তী ভৌত পরিবর্তন ঘটতে পারে অথবা অস্থায়ী রাসায়নিক বন্ধন দ্বারা বিক্রিয়কগুলির সঙ্গে যুক্ত হতে পারে, কিন্তু বিক্রিয়া শেষে অনুঘটকটি অপরিবর্তিত রূপে আবার ফিরে আসে।

(ii) অনুঘটক বিক্রিয়ার হার বৃদ্ধি করলেও সাম্যের সরণের পরিবর্তন করতে পারে না, কারণ অনুঘটক কেবল শক্তির বাধাকে সহজে অতিক্রম করার জন্য সক্রিয়ণ শক্তির পরিমাণ কমিয়ে দেয়। এই সক্রিয়ণ শক্তির হ্রাস, সম্মুখ ও বিপরীত উভয় বিক্রিয়ার ক্ষেত্রেই সমান হয়।

(iii) অনুঘটক বিক্রিয়ার ΔE-এর পরিবর্তন ঘটাতে পারে না।

(iv) একটি বিক্রিয়ার জন্য নির্দিষ্ট অনুঘটক অন্য বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে কার্যকর হয় না।

3.12. বিক্রিয়ার-ক্রম [Order of a Reaction]

ভরক্রিয়া-সূত্র থেকে জানা গেছে বিক্রিয়ার হার বিক্রিয়কগুলির গাঢ়ত্বের উপর নির্ভর করে সুতরাং বিক্রিয়কগুলির গাঢ়ত্বের উপর বিক্রিয়ার হারের নির্ভরতাকে বিক্রিয়া-ক্রম রূপে প্রকাশ করা যায়। কোনো বিক্রিয়ার ক্রম জানতে হলে, একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায়, বিক্রিয়কগুলির প্রতিটির গাঢ়ত্বের উপর বিক্রিয়াটির হার কতটা নির্ভর করে জানার জন্য আসল পরীক্ষা করে দেখতে হবে। আমরা দেখেছি, প্রতিটি বিক্রিয়কের গাঢ়ত্বের উপর এই নির্ভরতার পরিমাণ আমরা পাই, হার-সূত্র বা হার-সমীকরণ থেকে।

একটি বিক্রিয়া $aA + bB \rightarrow$ বিক্রিয়াজাত পদার্থ,—এই রকম কোনো বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে, পরীক্ষা দ্বারা নির্ণীত বিক্রিয়ার হার যদি $[A]^p\ [B]^q$-এর সমানুপাতিক হয়, তাহলে এই বিক্রিয়াটির ক্ষেত্রে, A বিক্রিয়কের আপেক্ষিকে p-ক্রম এবং B এর আপেক্ষিকে q-ক্রম এবং বিক্রিয়াটির সামগ্রিক ক্রম হবে $p + q$।

সুতরাং বিক্রিয়া-ক্রমের সংজ্ঞা রূপে বলা যায়—**আসল পরীক্ষা দ্বারা নির্ণীত বিক্রিয়ার হার নির্দেশক সমীকরণে, বিভিন্ন বিক্রিয়কের গাঢ়ত্বগুলির উপর যে ঘাতগুলি থাকে, সেই ঘাতগুলির সমষ্টিকে বিক্রিয়াটির বিক্রিয়াক্রম বলে।**

বিক্রিয়া-ক্রম হল একটি **পরীক্ষালব্ধ রাশি**— এটি পূর্ণ সংখ্যা বা ভগ্নাংশ হতে পারে যদিও তাত্ত্বিক দিক থেকে বেশি ক্রম পাওয়া সম্ভব কিন্তু বাস্তবে ত্রি-ক্রমের বেশি বিক্রিয়া-ক্রম বিশিষ্ট বিক্রিয়া পাওয়া যায় না বললেই চলে।

ধরি, একটি সাধারণ বিক্রিয়া $aA + bB + cC \rightarrow$ বিক্রিয়াজাত পদার্থ।

এই সাধারণ বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে, পরীক্ষায় প্রাপ্ত ফল থেকে হার-সমীকরণকে এইভাবে লেখা যায়, **হার = $k[A]^p[B]^q[C]^r$** এবং বিক্রিয়াটির ক্রম $n = p + q + r$ হবে।

যেমন, পরীক্ষা করে দেখা গেছে, $2H_2O_2 = 2H_2O + O_2$ —এই বিয়োজনের হার নীচের হার সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়। হার $R = k[H_2O_2]$ বা $R = kC_{H_2O_2}$

অর্থাৎ H_2O_2-এর বিয়োজনের হার একটি মাত্র গাঢ়ত্বের $[H_2O_2]$-এর উপর নির্ভর করে, তাই বিক্রিয়াটির ক্রম হল এক এবং বিক্রিয়াটি হল প্রথম-ক্রম বিক্রিয়া।

অনুরূপে $2N_2O_5 = 2N_2O_4 + O_2$ হল একক্রম বিক্রিয়া, কারণ এক্ষেত্রে হার = $k[N_2O_5]$ হয়।

আবার কোনো বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে, পরীক্ষার ফল থেকে যদি দেখা যায় যে বিক্রিয়াটির হারকে প্রকাশ করার জন্য গাঢ়ত্বের দ্বি-ঘাতের প্রয়োজন হয়, যেমন $2NO_2 \rightarrow 2NO + O_2$-এর ক্ষেত্রে হার = $[NO_2]^2$ অর্থাৎ দ্বি-ঘাত হয়, তাহলে বিক্রিয়াটির ক্রম হবে দুই অর্থাৎ বিক্রিয়াটির দ্বিতীয়ক্রমের। অনুরূপে, $2HI \rightleftharpoons H_2 + I_2$ এর ক্ষেত্রে বিক্রিয়ার হার $k = [H_2]\ [I_2]$

সুতরাং বিক্রিয়াটির ক্রম হল দুই।

$C_2H_4 + H_2 \longrightarrow C_2H_6$, বিক্রিয়ার হার = $k[C_2H_4]\ [H_2]$ এবং বিক্রিয়ার ক্রম হল দুই।

আবার, $2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$ বিক্রিয়াটির হার = $k[NO]^2[O_2]$. সুতরাং বিক্রিয়াটির ক্রম হল তিন। অনুরূপে $2NO + Cl_2 \rightarrow 2NOCl$ —এই বিক্রিয়াটির হার = $k[NO]^2[Cl]$ সুতরাং বিক্রিয়ার ক্রম = 3.

একটু লক্ষ করলে দেখা যায় যে, কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়াকে সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করলে, সমীকরণে নির্দেশিত অণুর সংখ্যার সঙ্গে বিক্রিয়াক্রমের কোনো সম্পর্ক নেই। অর্থাৎ অণুর সংখ্যার দ্বারা বিক্রিয়ার ক্রম নির্ণীত হয় না, নির্ণীত হয় বিক্রিয়কগুলির গাঢ়ত্বের মোট যতগুলি ঘাতের উপর গাঢ়ত্ব নির্ভর করবে তার উপর।

3.13. বিক্রিয়ার আণবিকতা [Molecularity of a Reaction]

কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়া ঘটানোর জন্য বিক্রিয়কের সর্বনিম্ন যত সংখ্যক অণু, পরমাণু বা আয়ন অংশ নেয়, সেই সংখ্যাকে বিক্রিয়াটির আণবিকতা বলে। যেমন, $2HI \longrightarrow H_2 + I_2$

এই বিক্রিয়ায় কমপক্ষে 2টি HI অণু না থাকলে বিক্রিয়াটি ঘটবে না, তাই বিক্রিয়াটির আণবিকতা দুই অর্থাৎ বিক্রিয়াটি দ্বিআণবিক। কিন্তু $2H_2O_2 \longrightarrow 2H_2O + O_2$ —এই বিক্রিয়াটির ক্ষেত্রে, যদিও সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ পায় যে H_2O_2-এর বিয়োজনে দুটি H_2O_2 অণুর প্রয়োজন, কিন্তু বাস্তবে H_2O_2-এর বিয়োজনটি নীচের মত হয়।

$$H_2O_2 \longrightarrow H_2O + O, \qquad O + O \longrightarrow O_2$$

সুতরাং দেখা গেল H_2O_2-এর বিভাজনে সর্বনিম্ন 1টি অণুর দরকার হয়, তাই **বিক্রিয়াটির আণবিকতা এক।**

যদি কোনো রাসায়নিক পরিবর্তনে একটি, দুটি অথবা তিনটি অণু বা পরমাণু অংশ নেয়, তাহলে বিক্রিয়াগুলি যথাক্রমে এক আণবিক, দ্বিআণবিক অথবা ত্রি-আণবিক হবে এবং বিক্রিয়াগুলির আণবিকতা যথাক্রমে এক, দুই এবং তিন হবে।

বিক্রিয়ার ক্রম এবং বিক্রিয়ার আণবিকতার মধ্যে কোনো স্থির সম্পর্ক নেই। যেমন = $2N_2O_5 = 2N_2O_4 + O_2$ বিক্রিয়াটির ক্রম হল এক। কিন্তু যেহেতু বিক্রিয়াটি এক ধাপে না ঘটে বিভিন্ন ধাপে সম্পন্ন হয়, তাই বিভিন্ন ধাপের বিক্রিয়াগুলির আণবিকতা এক নয়। যেমন—

$N_2O_5 \longrightarrow NO_2 + NO_3$ আণবিকতা = 1

$NO_3 + NO_2 \longrightarrow NO_2 + NO + O_2$ আণবিকতা = 2

$NO + N_2O_5 \longrightarrow 3NO_2$ আণবিকতা = 2

এখানে দেখা যায়, প্রথম ধাপে একটি বিক্রিয়ক অংশ নেয়, তাই আণবিকতা = 1, কিন্তু অপর দুটি ধাপে 2টি করে অণু বা মূলক অংশ নেয়, তাই ওদের প্রত্যেকটির আণবিকতা = 2

সুতরাং দেখা গেল কোনো বিক্রিয়ার ক্রম এবং আণবিকতা এক নয়। বিক্রিয়ার ক্রম হল পুরোপুরি পরীক্ষালব্ধ ধর্ম যা বিকারকগুলির গাঢ়ত্বের পরিবর্তনের সঙ্গে বিক্রিয়ার হারের পরিবর্তন নির্দেশ করে। অপরদিকে কোনো বিক্রিয়ায় আণবিকতা হল, বিক্রিয়াটির রাসায়নিক সমীকরণের সঙ্গে সম্পর্কিত একটি তাত্ত্বিক ধারণা— এর সঙ্গে বিক্রিয়াটির পরীক্ষালব্ধ হারের সম্পর্ক থাকতে পারে অথবা নাও থাকতে পারে।

3.14. বিক্রিয়ার হার এবং বেগ ধ্রুবক বা হার ধ্রুবক বা আপেক্ষিক বিক্রিয়ার হার [Rate and Rate constant of a Chemical Reaction]

বিক্রিয়ার হার বলতে বোঝায় যে, *কত বেগে অর্থাৎ কী হারে বিক্রিয়ক পদার্থগুলি বিক্রিয়াজাত পদার্থে পরিণত হচ্ছে।* পরিমাণগতভাবে এটি নির্ণয় করা যায়।

একক সময়ে কোনো একটি বিক্রিয়ক অথবা বিক্রিয়াজাত পদার্থের গাঢ়ত্বের পরিবর্তনকে প্রকাশ করা যায়। যেমন, $A \rightarrow B$ বিক্রিয়াটির ক্ষেত্রে বিক্রিয়ার হারকে নীচের দুটি পদ্ধতির যেকোনো একটির দ্বারা প্রকাশ করা যায়—

(i) A বিক্রিয়কের গাঢ়ত্ব হ্রাসের হার দ্বারা অথবা (ii) B বিক্রিয়াজাত পদার্থের গাঢ়ত্ব বৃদ্ধির হার দ্বারা।

(i) বিক্রিয়ার হার = $\dfrac{A\text{-এর গাঢ়ত্ব হ্রাস}}{\text{সময়}}$ (ii) বিক্রিয়ার হার = $\dfrac{B\text{-এর গাঢ়ত্ব বৃদ্ধি}}{\text{সময়}}$

সমীকরণে দেখা যায় যে, এক মোল A এক মোল B উৎপন্ন করে, সুতরাং যে হারে A-এর গাঢ়ত্ব হ্রাস পেতে থাকে, ঠিক সেই একই হারে B-এর গাঢ়ত্ব বৃদ্ধি পেতে থাকে। সুতরাং Δt সময়ের ব্যবধানে বিক্রিয়ক বা বিক্রিয়াজাত পদার্থের গাঢ়ত্বের পরিবর্তনকে এইভাবে প্রকাশ করা যায়। **বিক্রিয়ার হার** $= \frac{-\Delta[A]}{\Delta t}$ অথবা বিক্রিয়ার হার $= \frac{\Delta[B]}{\Delta t}$

যেখানে $[A] = A$-এর গাঢ়ত্ব এবং $[B] = B$-এর গাঢ়ত্ব।

উদাহরণ ঃ (i) $NO + O_3 \rightarrow NO_2 + O_2$

বিক্রিয়কের যেকোনো একটির গাঢ়ত্ব হ্রাসের অথবা বিক্রিয়াজাত পদার্থের যেকোনো একটির গাঢ়ত্ব বৃদ্ধির হার দ্বারা বিক্রিয়াটির বিক্রিয়ার হার প্রকাশ করা যায়।

বিক্রিয়ার হার, $R = -\frac{\Delta NO}{\Delta t} = -\frac{\Delta O_3}{\Delta t} = +\frac{\Delta [NO_2]}{\Delta t} = +\frac{\Delta [O_2]}{\Delta t}$

(ii) $H_2 + I_2 \rightarrow 2HI$ বিক্রিয়কের যেকোনো একটির গাঢ়ত্বের হ্রাসের হার অথবা বিক্রিয়াজাত পদার্থের গাঢ়ত্ব বৃদ্ধির হার দ্বারা বিক্রিয়ার হার প্রকাশ করা যায়।

বিক্রিয়ার হার, $R = -\frac{\Delta [H_2]}{\Delta t} = -\frac{\Delta [I_2]}{\Delta t} = \frac{1}{2}\frac{\Delta [HI]}{\Delta t}$

বিক্রিয়ার হারের একক হল মোল লিটার$^{-1}$ সময়$^{-1}$। সময় = সে$^{-1}$ বা মিনিট$^{-1}$ বা ঘন্টা$^{-1}$ হবে। গ্যাসীয় বিক্রিয়ায় হারের ক্ষেত্রে atm sec^{-1} বা, atm min^{-1} বা atm hr^{-1} দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

● **হার ধ্রুবক বা আপেক্ষিক বিক্রিয়ার হার**—একটি সরল বিক্রিয়া যেমন, $A \rightarrow$ বিক্রিয়াজাত পদার্থ, এর ক্ষেত্রে যেহেতু বিক্রিয়ার হার বিক্রিয়ক অথবা বিক্রিয়াজাত পদার্থের গাঢ়ত্বের সমানুপাতিক, সুতরাং বলা যায়,

বিক্রিয়াটির হার, $-\frac{dx}{dt} \propto [A]$ বা, বিক্রিয়ার হার $-\frac{dx}{dt} = k[A]$

যেখানে $[A] = A$-এর মোলার গাঢ়ত্ব এবং $k =$ সমানুপাতিক ধ্রুবক যাকে **হার ধ্রুবক বা আপেক্ষিক বিক্রিয়ার হার** বলা হয়।

দুটি বিক্রিয়ক দ্বারা বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে, $A + B \rightarrow$ বিক্রিয়াজাত পদার্থ, ভরক্রিয়া সূত্রানুযায়ী লেখা যায়, বিক্রিয়ার হার $-\frac{dx}{dt} \propto [A]\,[B] = k\,[A] \times [B]$ যেখানে $[A]$ এবং $[B]$ হল যথাক্রমে বিক্রিয়ক A এবং B এর মোলার গাঢ়ত্ব।

এখন প্রতিটি বিক্রিয়কের গাঢ়ত্ব যদি একক হয় অর্থাৎ $[A] = [B] = 1$ হয়, তাহলে গাঢ়ত্বের মানগুলি বসিয়ে পাই, বিক্রিয়ার হার $(R) = k \times 1 \times 1 = k$ হবে। সুতরাং হার ধ্রুবক বা আপেক্ষিক বিক্রিয়ার হারের সংজ্ঞা রূপে বলা যায়—

● **হার ধ্রুবক ঃ** ***কোনো নির্দিষ্ট উষ্ণতায়, কোনো বিক্রিয়ায় প্রতিটি বিক্রিয়কের মোলার গাঢ়ত্ব একক হলে, বিক্রিয়াটির হারকে হার ধ্রুবক বা আপেক্ষিক বিক্রিয়ার হার বলে।***

একটি সাধারণ বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে, $aA + bB \rightarrow$ **বিক্রিয়াজাত পদার্থ**, বিক্রিয়ার গতিতত্ত্ব অনুযায়ী পরীক্ষা করে দেখা গেছে বিক্রিয়ার হার $= k[A]^x\,[B]^y$ যেখানে x এবং y হল বিক্রিয়কের গাঢ়ত্বের ঘাত যার মান স্থির। **x ও y এর মান বাস্তব পরীক্ষার দ্বারা নির্ণয় করা হয়।** x এবং y-এর মান সমীকরণে A এবং B-এর সহগগুলি a এবং b-এর সমান হতে পারে, বা নাও হতে পারে।

(i) হার ধ্রুবক বা আপেক্ষিক বিক্রিয়ার হার হল একটি **বিক্রিয়ার হারের পরিমাপক**। হার ধ্রুবক K-এর মান যতবেশি হবে বিক্রিয়াটি তত দ্রুতগতিতে ঘটবে। কোনো বিক্রিয়ার হার ধ্রুবকের মান কম হলে বিক্রিয়াটি ধীর গতিতে ঘটবে।

(ii) বিভিন্ন বিক্রিয়ার হার ধ্রুবকের মান বিভিন্ন হয়।

(iii) নির্দিষ্ট উষ্ণতায় একটি বিক্রিয়ার হার ধ্রুবকের মান নির্দিষ্ট থাকে এবং এটিই হল বিক্রিয়াটির বৈশিষ্ট্য।

(iv) একটি নির্দিষ্ট বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে, হার ধ্রুবকের মান গাঢ়ত্বের উপর নির্ভর করে না।

● **বিক্রিয়ার হার-সূত্র বা হার সমীকরণ** (Rate law)—একটি রাসায়নিক বিক্রিয়ার হারকে বিক্রিয়কগুলির প্রতিটির গাঢ়ত্বের মাধ্যমে প্রকাশ করতে হলে, বিক্রিয়ক পদার্থগুলির প্রতিটির আসল গাঢ়ত্বের উপর বিক্রিয়ার হারের নির্ভরতার পরিমাণ, প্রকৃত পরীক্ষা নিরীক্ষার মাধ্যমে পরিমাপ করা প্রয়োজন। যেমন, $2NO(g) + O_2(g) \rightarrow 2NO_2(g)$ বিক্রিয়াটির ক্ষেত্রে আসল পরীক্ষা করে দেখা গেছে বিক্রিয়াটির হার, NO এবং O_2-এর গাঢ়ত্বের গুণফলের সমানুপাতিক হয়। সুতরাং বিক্রিয়াটির হারকে এইভাবে প্রকাশ করা যায়, **হার** $= k[NO]\,[O_2]$

আসল পরীক্ষা দ্বারা প্রাপ্ত বিক্রিয়কগুলির গাঢ়ত্বের মাধ্যমে প্রকাশিত সমীকরণটিকে **হার-সূত্র** বা **হার-সমীকরণ** বলা হয়।

আবার N_2O_5 এর বিয়োজন বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে $2N_2O_5(g) \rightarrow 4NO_2(g) + O_2(g)$, পরীক্ষা করে দেখা গেছে যে বিক্রিয়াটির

হার N_2O_5 এর গাঢ়ত্ব $[N_2O_5]$-এর উপর নির্ভর করে, $[N_2O_5]^2$-এর উপর নয়। বিক্রিয়াটির আসল ক্রিয়াকৌশল নীচে দেখানো হল— ধাপ-1. $N_2O_5 \rightarrow NO_2 + NO_3$

ধাপ-2. $N_2O_5 + NO_3 \rightarrow 3NO_2 + O_2$

সুতরাং দেখা গেল বিক্রিয়াটি N_2O_5-এর একঘাত গাঢ়ত্বের উপর নির্ভর করে।

সুতরাং বিক্রিয়াটির হার $= k[N_2O_5]$-এই সমীকরণটি হল বিক্রিয়াটির হার-সূত্র (Rate law)।

একটি সাধারণ সমীকরণ $aA + bB + cC \rightarrow$ বিক্রিয়াজাত পদার্থ—এই বিক্রিয়াটির ক্ষেত্রে, বিক্রিয়াটির সমিত সমীকরণে a, b এবং c হল যথাক্রমে A, B, C বিক্রিয়কগুলির সহগ যেগুলি এই বিক্রিয়ায় A, B এবং C এর তৌলিক ভাগ প্রকাশ করে। কিন্তু বিক্রিয়াটির গতিতত্ত্ব অনুযায়ী বিক্রিয়াটির হারের উপর বিক্রিয়কগুলির গাঢ়ত্বের নির্ভরতার পরীক্ষা করে পাওয়া যায় যে হার $= k[A]^x [B]^y [C]^z$ যেখানে x, y এবং z হল পরীক্ষাদ্বারা প্রাপ্ত যথাক্রমে A, B এবং C এর গাঢ়ত্বের ঘাত যেগুলির উপর বিক্রিয়াটির হার নির্ভর করে। সুতরাং বিক্রিয়াটির হার-সূত্র অনুযায়ী, হার $= k[A]^x [B]^y [C]^z$ হবে।

ভরক্রিয়া সূত্রানুযায়ী বিক্রিয়াটির হার $= k[A]^a [B]^b [C]^c$ হয়।

3.15. প্রথম-ক্রমের বিক্রিয়া [First order reaction]

যে বিক্রিয়ায় বিক্রিয়ার হার, বিক্রিয়কের গাঢ়ত্বের প্রথম ঘাতের সমানুপাতিক হয়, সেই বিক্রিয়াটিকে প্রথমক্রমের বিক্রিয়া বলা হয়।

ধরি, প্রথম-ক্রমের একটি বিক্রিয়া হল $A \longrightarrow B$.,

যেখানে A হল বিক্রিয়ক এবং B বিক্রিয়াজাত পদার্থ। ধরি A-এর প্রাথমিক গাঢ়ত্ব $= a$, t সময় পর বিক্রিয়কের x পরিমাণ বিক্রিয়াজাত পদার্থে পরিণত হয় এবং এই সময় A-এর গাঢ়ত্ব $= (a - x)$ এবং B-এর গাঢ়ত্ব $= x$ হবে। এই সময়ের মধ্যে বিক্রিয়ক বিক্রিয়াজাত পদার্থের গাঢ়ত্বের পরিবর্তন নীচে দেখান হল—

	$A \longrightarrow$	B
প্রাথমিক গাঢ়ত্ব	a	0
t সময় পর গাঢ়ত্ব	$(a - x)$	x

হার $= -\frac{dx}{dt} = k(a - x)$ বা, $-\frac{dx}{(a-x)} = kdt$

সমাকলন করে পাই, $-\int \frac{dx}{a-x} = k\int dt$ বা, $-ln(a - x) = kt + c$ ... ... (3.35)

(c = সমাকলন ধ্রুবক এবং k = হার ধ্রুবক বা আপেক্ষিক বিক্রিয়ার হার)

এখন বিক্রিয়ার আরম্ভে $t = 0$ এবং $x = 0$, এই মানগুলি (3.35) সমীকরণে বসিয়ে পাই,

$-ln\ a = k \times 0 + c$ বা, $-ln\ a = c$

এখন (3.35) নং সমীকরণে c-এর মান বসিয়ে, $-ln(a - x) = kt - ln\ a$ বা, $ln\frac{a}{a-x} = kt$ ... (3.36)

বা, $k = \frac{1}{t} ln\frac{a}{a-x}$ বা, $\boxed{k = \frac{2.303}{t}\log\frac{a}{(a-x)}}$ ... ... (3.37)

বা, $t = \frac{2.303}{k}\log\frac{a}{(a-x)}$ ... ... (3.38)

(3.36) সমীকরণ থেকে পাই, বা, $ln\frac{a}{(a-x)} = kt$ বা $ln\frac{(a-x)}{a} = -kt$ বা, $\frac{a-x}{a} = e^{-kt}$

বা, $(a-x) = ae^{-kt}$ বা, $x = a(1 - e^{-kt})$ ... ... (3.39)

এই সমীকরণ থেকে প্রথম-ক্রম বিক্রিয়ার সম্বন্ধে নীচের বিষয়গুলি জানা যায়—

(*i*) বিক্রিয়াটির সম্পূর্ণতার জন্য অর্থাৎ $x = a$ হলে সমীকরণ (3.39) থেকে পাই $a = a(1 - e^{-kt})$ অর্থাৎ $t = \infty$ (অসীম) দেখা যায় বিক্রিয়কের গাঢ়ত্ব সময়ের সঙ্গে সূচক হারে কমতে থাকে, সুতরাং বলা যায় **প্রথমক্রমের বিক্রিয়া কখনো সম্পূর্ণ হবে না,** কারণ e^{-kt} কখনো শূন্য হবে না।

(*ii*) $\frac{a}{(a-x)}$ একটি অনুপাত বলে সংখ্যা মাত্র, এর কোনো একক নেই, সুতরাং গাঢ়ত্বকে যে কোনো এককে ধরলেও k এর মান একই হবে।

(*iii*) আবার হার ধ্রুবক $k = \frac{1}{t} ln\frac{a}{(a-x)}$ সুতরাং k-এর একক হবে সময়$^{-1}$।

প্রথম-ক্রম বিক্রিয়ার কয়েকটি উদাহরণ ঃ

(i) N_2O_4-এর বিয়োজন $N_2O_4 \longrightarrow 2NO_2$

(ii) N_2O_5-এর বিয়োজন $2N_2O_5 \longrightarrow 4NO_2 + O_2$

(iii) H_2O_2-এর বিয়োজন $2H_2O_2 \longrightarrow 2H_2O + O_2$

(iv) $CH_3CH_2Br \longrightarrow C_2H_4 + HBr$.

3.16. প্রথম-ক্রম বিক্রিয়ার অর্ধায়ুকাল [Half-life of a first order reaction]

কোনো প্রথম-ক্রম বিক্রিয়ায়, বিক্রিয়কের প্রাথমিক গাঢ়ত্বের পরিমাণ ঠিক অর্ধেক হয়ে যেতে যে সময় লাগে, সেই সময় কালকে ওই বিক্রিয়ার অর্ধায়ুকাল বলে।

(3.38) নং সমীকরণ থেকে প্রথম-ক্রম বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে পাই, $t = \frac{2.303}{k}\log\frac{a}{(a-x)}$

ধরি বিক্রিয়াটির অর্ধায়ুকাল $t_{1/2}$ সময়ে $x = a/2$ হয় অর্থাৎ প্রাথমিক গাঢ়ত্বের অর্ধেক হয়।

সুতরাং $t_{1/2} = \frac{2.303}{k}\log\frac{a}{(a-a/2)}$ (কারণ $x = a/2$) বা, $t_{1/2} = \frac{2.303}{k}\log\frac{a}{a/2} = \frac{2.303}{k}\log 2$

বা, $t_{1/2} = \frac{2.303 \times 0.3010}{k}$ বা, $\boxed{t_{1/2} = \frac{0.693}{k}}$ ... ... (3.40)

অর্থাৎ প্রথম অবস্থায় যে কোনো পরিমাণ বিক্রিয়ক নেওয়া হোক-না-কেন, ওই পরিমাণের ঠিক অর্ধেক পরিমাণ হতে একই সময় লাগবে। অর্থাৎ প্রথমক্রম বিক্রিয়ায় ক্ষেত্রে **অর্ধায়ুকাল প্রাথমিক গাঢ়ত্বের উপর নির্ভর করে না। অর্ধায়ুকাল কেবল হার ধ্রুবক k-এর উপর নির্ভর করে।**

● **প্রথম-ক্রম বিক্রিয়া সংক্রান্ত গাণিতিক উদাহরণ** (Numerical Problems) ঃ

(1) 320K উষ্ণতায় CCl_4-এ দ্রবীভূত N_2O_5 নীচের মত বিয়োজিত হয়—

$$2N_2O_5 \longrightarrow 4NO_2 + O_2$$

দেখাও যে বিক্রিয়াটির ক্রম হল এক।

সময় (মিনিটে)	*10*	*15*	*20*	*25*	∞
O_2 এর আয়তন (ml)	*6.3*	*8.95*	*11.4*	*13.5*	*34.75*

Ans. যদি বিক্রিয়াটি প্রথম-ক্রম বিক্রিয়া হয় তাহলে বিক্রিয়াটি নিশ্চয় $k = \frac{2.303}{t}\log\frac{a}{(a-x)}$ সমীকরণটি মেনে চলবে। প্রদত্ত বিক্রিয়ায় NO_2 দ্রবণে দ্রবীভূত অবস্থায় থাকে কেবল O_2 নির্গত হয় এবং বিভিন্ন সময়ের অবকাশে O_2 কে সংগ্রহ করা হয় সুতরাং $V_t \propto x$ এবং $V_\infty \propto a$

প্রথম-ক্রম বিক্রিয়ার সমীকরণে এই মানগুলি বসিয়ে— $k = \frac{2.303}{t}\log\frac{a}{(a-x)} = \frac{2.303}{t}\log\frac{V_\infty}{V_\infty - V_t}$

সময়	V_t	$(V_\infty - V_t)$	$k = \frac{2.303}{t}\log\frac{V_\infty}{V_\infty - V_t}$
10	6.3	(34.75–6.3) = 28.45	$k = \frac{2.303}{10}\log\frac{34.75}{28.45} = 0.0198$
15	8.95	(34.75–8.95) = 25.8	$k = \frac{2.303}{15}\log\frac{34.75}{25.8} = 0.0198$
20	11.4	(34.75–11.4) = 23.35	$k = \frac{2.303}{20}\log\frac{34.75}{23.35} = 0.0198$
25	13.5	(34.75–13.5) = 21.25	$k = \frac{2.303}{25}\log\frac{34.75}{21.25} = 0.0198$

যেহেতু k-এর মান যা পাওয়া গেল তাহল ধ্রুবক, সুতরাং বিক্রিয়াটি প্রথম-ক্রম বিক্রিয়া এবং হার ধ্রুবকের মান = 0.0198 মিনিট।

(2) নীচের প্রদত্ত ডাটাগুলি থেকে দেখাও যে H_2O_2-এর বিয়োজন বিক্রিয়াটির ক্রম হল এক।

সময় মিনিটে	*0*	*10*	*20*
ব্যবহৃত $KMnO_4$-এর আয়তন (ml)	*46.1*	*29.8*	*19.3*

Ans. যদি বিক্রিয়াটি প্রথম-ক্রমের বিক্রিয়া হয় তাহলে বিক্রিয়াটি $k = \frac{2.303}{t} \log \frac{a}{(a-x)}$ সমীকরণকে মেনে চলবে। প্রাথমিক আয়তন $= V_0$ অর্থাৎ $t = 0$ সময়ে আয়তন, প্রাথমিক গাঢ়ত্ব $= a$, t সময়ে আয়তন (V_t) এবং গাঢ়ত্ব $= (a - x)$। মানগুলিকে উপরের সমীকরণে বসিয়ে

(i) 10 মিনিটে $k = \frac{2.303}{10} \log \frac{46.1}{29.8} = 0.0436$ মি$^{-1}$

(ii) 20 মিনিটে $k = \frac{2.303}{20} \log \frac{46.1}{19.3} = 0.0435$ মি$^{-1}$

যেহেতু k এর মান স্থির সুতরাং বিক্রিয়াটি প্রথম-ক্রমের বিক্রিয়া।

(3) একটি পদার্থের বিয়োজনের হার যখন 7.25 হয় তখন পদার্থটির 5% বিক্রিয়া করে ফেলে এবং বিয়োজন হার যখন 5.14 হয়, তখন ওর 20% বিয়োজিত হয়। বিক্রিয়াটির ক্রম নির্ণয় করো।

Ans. হার $= kC^n$ যেখানে k = হার ধ্রুবক, C = গাঢ়ত্ব এবং n = বিক্রিয়ায় ক্রম

এখন $7.25 = k\,(0.95C_0)^n$ (C_0 = প্রাথমিক গাঢ়ত্ব, এর 5% বিক্রিয়া করার পর অবশিষ্ট বিক্রিয়কের গাঢ়ত্ব $= 0.95C_0$)

অনুরূপে $5.14 = k\,(0.80\,C_0)^n$

উভয়কে ভাগ করে বা, $\left(\frac{0.95}{0.80}\right)^n = \frac{7.25}{5.14}$ বা, $n = 2$ সুতরাং বিক্রিয়াটির ক্রম = 2.

(4) একটি বিক্রিয়ায় 25% সম্পূর্ণ হয় 20 মিনিটে। বিক্রিয়াটির 75% সম্পূর্ণ হতে কত সময় লাগবে?

Ans. প্রথম-ক্রম বিক্রিয়ায় ক্ষেত্রে $kt = \ln\frac{C_0}{C} = 2.303 \log \frac{C_0}{C}$ যেখানে C_0 = প্রাথমিক গাঢ়ত্ব এবং $C = t$ সময় পর গাঢ়ত্ব, k = হার ধ্রুবক।

এখন $20 = \frac{2.303}{k} \log \frac{C_0}{0.75\,C_0}$ (যখন বিক্রিয়াটির 25% সম্পূর্ণ হয় তখন $C = C_0 \times 0.75$)

এর থেকে k এর মান নির্ণয় করা যায়। $k = 0.0144$

আবার $t = \frac{2.303}{k} \log \frac{C_0}{0.25\,C_0}$ বা, $t = 96.12$ মিনিট।

(5) প্রমাণ করো একটি প্রথম-ক্রম বিক্রিয়ার 75% বিক্রিয়ার সময়, 50% বিক্রিয়ার দ্বিগুণ।

Ans. $t_{75\%} = \frac{2.303}{k} \log \frac{C_0}{0.25C_0}$ ..... (1) $t_{50\%} = \frac{2.303}{k} \log \frac{C_0}{0.50C_0}$ ..... (2)

(1) ÷ (2) করে $\frac{t_{75\%}}{t_{50\%}} = \frac{\log 4}{\log 2} = \frac{2\log 2}{\log 2} = 2$ অর্থাৎ $t_{75\%} = 2 \times t_{50\%}$

(6) NH_3 এর সঙ্গে O_2 এর বিক্রিয়া উচ্চ উষ্ণতায় নীচের মতো ঘটে

$$4NH_3(g) + 5O_2(g) \rightarrow 4NO(g) + 6H_2O(g)$$

একটি পরীক্ষায় দেখা গেল NO-এর গাঢ়ত্ব 1.08×10^{-2} মোল/ লি বৃদ্ধি পায় 3 সেকেন্ডে (i) বিক্রিয়ার হার (ii) NH_3-এর গাঢ়ত্বের হ্রাস এবং (iii) জল গঠনের হার নির্ণয় করো।

Ans. $4NH_3(g) + 5O_2(g) \rightarrow 4NO(g) + 6H_2O(g)$

বিক্রিয়াটির হার $= -\frac{1}{4}\frac{d[NH_3]}{dt} = -\frac{1}{5}\frac{d[O_2]}{dt} = \frac{1}{4}\frac{d[NO]}{dt} = \frac{1}{6}\frac{d[H_2O]}{dt}$

NO এর গাঢ়ত্ব বৃদ্ধি $= 1.08 \times 10^{-2}$ মোল/লি, সময় 3 সে

NO এর গাঢ়ত্ব বৃদ্ধির হার $= \frac{1.08\times10^{-2}}{3} = 3.6 \times 10^{-3}$ মোল লি$^{-1}$সে$^{-1}$

বিক্রিয়ার হার $= \frac{1}{4}$NO-এর গাঢ়ত্ব বৃদ্ধির হার $= \frac{1}{4}\times 3.6 \times 10^{-3} = 9.0 \times 10^{-4}$ মোল লি$^{-1}$সে$^{-1}$

NH_3-এর গাঢ়ত্ব হ্রাসের হার = NO-এর গাঢ়ত্ব বৃদ্ধির হার $= 3.6 \times 10^{-3}$ মোল লি$^{-1}$সে$^{-1}$

H_2O-এর গঠনের হার $= \frac{1}{6}\frac{d[H_2O]}{dt} = \frac{1}{4}\frac{d[NO]}{dt}$ বা $\frac{d[H_2O]}{dt} = \frac{6}{4}\times3.6\times10^{-2}$

$= 5.4 \times 10^{-3}$ মোল লি$^{-1}$সে$^{-1}$

(7) একটি পদার্থের বিয়োজনের অর্ধায়ুকাল হল 1390 বৎসর। হার ধ্রুবক নির্ণয় করো। পদার্থটির 75% লোপ পেতে কত সময় লাগবে?

Ans. $t_{1/2} = \frac{2.303}{k} \log \frac{C_0}{0.50C_0} = \frac{2.303}{k} \log 2 = \frac{0.693}{k}$ সুতরাং $k = \frac{0.693}{t_{1/2}} = \left(\frac{0.693}{1590}\right) = 4.36 \times 10^{-4}$ বৎসর

এখন $t_{75\%} = \frac{2.303}{k} \log \frac{C_0}{0.25C_0} = \frac{2.303}{k} \log 4$ বা, $t_{75\%} = 3180$ বৎসর।

(8) $A + B \rightarrow C$ বিক্রিয়াটির হার ধ্রুবক = $1.4 \times 10^{11}\ l\ mol^{-1}\ sec^{-1}$ বিক্রিয়াটির অর্ধায়ুকাল নির্ণয় করো যখন প্রাথমিক অবস্থাগুলি হল—(a) A-এর প্রাথমিক গাঢ়ত্ব = B-এর প্রাথমিক গাঢ়ত্ব = $0.1\ mol\ l^{-1}$ (b) A-এর প্রাথমিক গাঢ়ত্ব = B-এর প্রাথমিক গাঢ়ত্ব = $1 \times 10^{-7}\ mol.l^{-1}$.

Ans. (a) বিক্রিয়াটি দ্বিক্রম বিক্রিয়া কারণ যার ধ্রুবকের একক হল 1 $mol^{-1}\ sec^{-1}$

দ্বিক্রম বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে $t_{1/2} = \frac{1}{kC_0}$ (যেখানে k = হার ধ্রুবক এবং C_0 প্রাথমিক গাঢ়ত্ব)

(a) $t_{1/2} = \frac{1}{1.4 \times 10^{11} \times 0.1} = 7.1 \times 10^{-11}$ sec

(b) $t_{1/2} = \frac{1}{1.4 \times 10^{11} \times 0.1 \times 10^{-7}} = 7.1 \times 10^{-15}$ sec

(b) জলীয় দ্রবণে H_2O_2 এর বিয়োজন হল প্রথম ক্রমের বিক্রিয়া। এখন $KMnO_4$ দ্রবণ দ্বারা বিভিন্ন সময়ে এর পরিমাণ নির্ণয় করা হল—

সময় t মিনিট	*0*	*5*	*15*	*25*	*45*
$KMnO_4$ দ্রবণ (cm^3)	*37.0*	*29.8*	*19.6*	*12.3*	*5.0*

বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক নির্ণয় করো।

Ans. প্রথমক্রম বিক্রিয়া সুতরাং এর ক্ষেত্রে $k = \frac{2.303}{t} \log \frac{a}{(a-x)}$

$k = \frac{2.303}{5} \log \frac{37.0}{29.8} = 0.0432$ মি$^{-1}$ $k = \frac{2.303}{15} \log \frac{37.0}{19.6} = 0.0423$ মি$^{-1}$

$k = \frac{2.303}{25} \log \frac{37.0}{12.3} = 0.0440$ মি$^{-1}$ $k = \frac{2.303}{45} \log \frac{37.0}{5.0} = 0.0445$ মি$^{-1}$

k-এর গড় মান = 0.0436 মি$^{-1}$

(9) একটি প্রথম-ক্রম বিক্রিয়ার অর্ধায়ুকাল 100 সেকেন্ড। বিক্রিয়াটির বিক্রিয়া ধ্রুবকের মান নির্ণয় করো।

Ans. $t_{1/2} = \frac{0.693}{k}$ বা, $k = \frac{0.693}{t_{1/2}} = \frac{0.693}{100} = 6.93 \times 10^{-3}$ সে$^{-1}$

(10) প্রথম-ক্রম একটি বিক্রিয়ায় অর্ধায়ুকাল 60 মিনিট। 240 মিনিট পর বিক্রিয়কের কত পরিমাণ অবশিষ্ট থাকবে?

Ans. অর্ধায়ুকালের সংখ্যা 240/60 = 4

সুতরাং অবশিষ্ট বিক্রিয়কের গাঢ়ত্ব $[A] = \frac{[A_0]}{2^4} = 0.0625\ [A_0]$ অর্থাৎ 6.25% অবশিষ্ট থাকবে।

(11) একটি প্রথম-ক্রম বিক্রিয়ায় আপেক্ষিক বিক্রিয়ার হার 10^{-3} সে$^{-1}$ হলে 10g বিক্রিয়ক 2.5g-এ পরিণত হতে কত সময় লাগবে?

Ans. n সংখ্যক অর্ধায়ুকাল পর $[A] = \frac{[A_0]}{2^n}$

বা, $2^n = \frac{[A_0]}{[A]} = \frac{10}{2.5} = 4 = 2^2$ বা, $n = 2$ এখন $t_{1/2} = \frac{0.693}{10^{-3}} = 693$ সে

2.5 g-এ পরিণত হতে সময় লাগবে 693 × 2 = 1386 সে।

3.17. ছদ্ম একআণবিক বিক্রিয়া [Pseudo unimolecular Reaction]

অনেক বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে দেখা যায় বিক্রিয়ার হার দুটি বিক্রিয়কের গাঢ়ত্বের উপর নির্ভর করে—সুতরাং এই জাতীয় বিক্রিয়াগুলির ক্রম আসলে 2 হওয়া উচিত, কিন্তু পরীক্ষার সাহায্যে বিক্রিয়ার হার নির্ণয় করে দেখা যায় যে বিক্রিয়াটি প্রথমক্রম

বিক্রিয়ার মত ব্যবহার করে এবং হার ধ্রুবক $k = \frac{2.303}{t}\log\frac{a}{(a-x)}$ হয়। যেমন চিনির আর্দ্র-বিশ্লেষণ বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে দেখা যায় যে চিনির আর্দ্র-বিশ্লেষণে গ্লুকোজ ও ফ্রুকটোজ পাওয়া যায়।

$$\underset{\text{চিনি}}{C_{12}H_{22}O_{11}} + H_2O \longrightarrow \underset{\text{গ্লুকোজ}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{ফ্রুকটোজ}}{C_6H_{12}O_6}$$

এই বিক্রিয়ার হার $-\frac{dx}{dt} = k(C_{\text{চিনি}})(C_{H_2O})$ অর্থাৎ দেখা গেল বিক্রিয়াটি আসলে দ্বিক্রম বিক্রিয়া, কিন্তু যেহেতু চিনির জলীয় দ্রবণে জলের পরিমাণ চিনির চেয়ে অনেক বেশি, তাই দেখা যায় চিনির সম্পূর্ণটা গ্লুকোজ-ফ্রুকটোজে পরিণত হয়ে গেলেও জলের আপেক্ষিক গাঢ়ত্বের যে সামান্য পরিবর্তন হয় তা নগণ্য বলে ধরা যায়, অর্থাৎ সমগ্র বিক্রিয়ায় জলের গাঢ়ত্ব প্রায় স্থির থাকে বলেই ধরা যায়। সুতরাং এই ক্ষেত্রে গাঢ়ত্বের পরিবর্তন কেবল চিনির ক্ষেত্রেই ঘটবে সুতরাং $-\frac{dx}{dt} = k'(C_{\text{চিনি}})$ চিনির প্রাথমিক গাঢ়ত্ব $= a$ এবং t সময় পর চিনির গাঢ়ত্ব $= (a-x)$ হলে, $\frac{dx}{dt} = k'(a-x)$

বা, $k' = \frac{1}{t}\ ln\ \frac{a}{(a-x)}$ বা, $k' = \frac{2.303}{t}\log\frac{a}{(a-x)}$ হয়, যা প্রথম-ক্রম বিক্রিয়ার সমীকরণ।

দেখা গেল বিক্রিয়াটি দ্বিক্রম বিক্রিয়া হলেও এর মধ্যে প্রথম-ক্রম বিক্রিয়ার বৈশিষ্ট্যগুলি পুরোমাত্রায় বর্তমান আছে। বিক্রিয়াটিতে একের বেশি অণু উপস্থিত থাকা সত্ত্বেও বিক্রিয়ক দুটির মধ্যে একটি যেমন জল বা অন্য কোনো দ্রাবকের পরিমাণ খুব বেশি হওয়ার ফলে বিক্রিয়াটির ক্ষেত্রে জল বা দ্রাবকের গাঢ়ত্বের কোনো পরিবর্তন হয় না বলেই ধরা যায়—এর ফলে কেবল একটি বিক্রিয়কের গাঢ়ত্বের পরিবর্তন হতে থাকে। এর ফলে বিক্রিয়াটি প্রথম ক্রমের বিক্রিয়ার মত ব্যবহার করে। এইরকম বিক্রিয়াকে **ছদ্ম একআণবিক বিক্রিয়া** বলা হয়।

অপর কয়েকটি ছদ্ম প্রথম-ক্রম বিক্রিয়ার উদাহরণ হল—

$$CH_3COOCH_3 + H_2O \longrightarrow CH_3COOH + CH_3OH$$
$$COS + H_2O \longrightarrow CO_2 + H_2S$$

3.18. দ্বিতীয় ক্রমের বিক্রিয়া [Second order reactions]

যে সব বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে, বিক্রিয়ার হার বিক্রিয়কের গাঢ়ত্বের বর্গের সমানুপাতিক হয় সেই বিক্রিয়াগুলি হল দ্বিতীয় ক্রমের বিক্রিয়া। অর্থাৎ দ্বিতীয়-ক্রমের বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে বিক্রিয়ার হার $\frac{-dc}{dt} = kc^2$ হবে।

দ্বিতীয়-ক্রম বিক্রিয়ায় কমপক্ষে বিক্রিয়কের 2 অণু থাকবে।

ধরি, একটি বিক্রিয়া $2A \rightarrow B + C$-এর ক্ষেত্রে A এর প্রাথমিক গাঢ়ত্ব $= a$ এবং t সময় পর A-এর গাঢ়ত্ব $= (a-x)$ হল। তাহলে

সুতরাং বিক্রিয়ার হারকে নীচের মত লেখা যায়—

$\frac{dx}{dt} = k(a-x)^2$ বা, $\frac{dx}{(a-x)^2} = k\ dt.$ সমাকলন করে, $\int\frac{dx}{(a-x)^2} = \int k\,dt$

বা, $\frac{1}{a-x} = kt + c$ (যেখানে c = সমাকলন ধ্রুবক এবং k = হার ধ্রুবক) ... ... (3.41)

(3.41) নং সমীকরণে দেখা যায়, যখন $t = 0$, $x = 0$ হয় তখন $c = \frac{1}{a}$

c-এর মান (3.41) নং সমীকরণে বসিয়ে পাই $\frac{1}{a-x} = \frac{1}{a} + kt$

বা, $\frac{1}{a-x} - \frac{1}{a} = kt$ বা, $\frac{x}{a(a-x)} = kt$ বা, $k = \frac{1}{t}\cdot\frac{x}{a(a-x)}$ ... ... (3.42)

দ্বিতীয়-ক্রম বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে হার-ধ্রুবকের k একক হল $\frac{1}{\text{সেকেন্ড}} \times \frac{\text{গ্রাম মোল/লিটার}}{(\text{গ্রাম মোল/লিটার})^2} = \frac{\text{লিটার}}{\text{সেকেন্ড} \times \text{মোল}}$

∴ হার ধ্রুবক $\boxed{k = \frac{x}{ta(a-x)}}$ মোল$^{-1}$ লিটার সেকেন্ড$^{-1}$

দ্বিতীয়-ক্রম বিক্রিয়ার অর্ধায়ুকাল বা অর্ধজীবনকাল পাওয়া যায় উপরের সমীকরণে (3.42)-এ $x = a/2$ বসিয়ে,

(3.42) নং সমীকরণ থেকে পাই $t = \frac{1}{k}\cdot\frac{x}{a(a-x)}$ এখন $x = a/2$ বসিয়ে পাই $t_{1/2} = \frac{1}{k}\cdot\frac{a/2}{a(a-\frac{a}{2})}$ বা, $t_{1/2} = \frac{1}{ka}$ ... (3.43)

সুতরাং দেখা গেল, **বিক্রিয়কের অর্ধেক পরিমাণ বিক্রিয়াজাত পদার্থে পরিণত হতে প্রয়োজনীয় সময় বিক্রিয়কের প্রাথমিক গাঢ়ত্বের উপর নির্ভর করে।** এটি হল প্রথম-ক্রম বিক্রিয়া থেকে দ্বিতীয়-ক্রম বিক্রিয়ার পার্থক্য।

কতকগুলি দ্বিতীয়ক্রম বিক্রিয়ার উদাহরণ :

(i) $H_2 + I_2 = 2HI$ (ii) $2HI \rightarrow I_2 + H_2$ (iii) $C_2H_4 + H_2 \rightarrow C_2H_6$

● অনুশীলনী ●

রাসায়নিক শক্তিবিজ্ঞান

(A) অতিসংক্ষিপ্ত উত্তরভিত্তিক প্রশ্ন :

(1) প্রতিটির 1টি করে উদাহরণ দাও— (a) বিচ্ছিন্ন সিস্টেম (b) মুক্ত সিস্টেম (c) বদ্ধ সিস্টেম (2) E, H, q এবং W-এর মধ্যে অবস্থা-নির্ভরক কোন্‌গুলি? (3) একটি রাসায়নিক বিক্রিয়া দুটি বিভিন্ন T_1 এবং T_2 উষ্ণতায় ঘটছে। বিক্রিয়ার ΔH একই হবে না বিভিন্ন হবে? (4) রুদ্ধতাপ প্রত্যাবর্তক প্রক্রিয়ায় এনট্রপির পরিবর্তন হবে কী? (5) সিস্টেমের মুক্তশক্তি বলতে কী বোঝ? কোন্ বিষয়ে এটি এনথ্যালপির থেকে পৃথক? মুক্তশক্তির উপর তাপের প্রভাব কী? (6) সাম্য ধ্রুবক এবং মুক্তশক্তির মধ্যে সম্পর্ক কী? (7) কোনো সিস্টেমের এনথ্যালপি এবং এনট্রপির সঙ্গে মুক্তশক্তির সম্পর্ক কী? (8) ΔH°_f এবং ΔH_f-এর মধ্যে পার্থক্য কী? (9) একটি রাসায়নিক বিক্রিয়ার উল্লেখ করো যার ক্ষেত্রে ΔH এবং ΔE সমান। (10) একটি বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে ΔH এবং ΔS উভয়ই পজিটিভ। কী শর্তে বিক্রিয়াটি স্বতঃস্ফূর্ত হবে? (11) ΔG এবং $\Delta S_{universe}$-এর সম্পর্ক কী? (12) এনট্রপি এবং এনথ্যালপি বলতে কী বোঝ? (13) 1 atm চাপে 273 K উষ্ণতার চেয়ে কম উষ্ণতায় বরফের গলন স্বতঃস্ফূর্ত হবে কী? (14) এনট্রপি এবং মুক্তশক্তির একক কী কী? (15) হেসের তাপসমষ্টির নিত্যতা সূত্রটি বিবৃত করো। (16) গিবস ও হেলমোজের সমীকরণটি লেখ এবং ব্যবহৃত প্রতীকগুলির অর্থ বল।

(B) সংক্ষিপ্ত উত্তরভিত্তিক প্রশ্ন :

(1) রুদ্ধতাপ প্রক্রিয়া এবং সমোষ্ণ প্রক্রিয়া কাকে বলে? প্রক্রিয়া দুটির মধ্যে পার্থক্যগুলি উল্লেখ করো। (2) জলের এনট্রপির চেয়ে বরফের এনট্রপি কম কেন ব্যাখ্যা করো। (3) শক্তির নিত্যতা সূত্রটি বিবৃত করো। তাপ, অভ্যন্তরীণ শক্তি এবং সম্পাদিত কার্যের মধ্যে সম্পর্কটি প্রকাশ করো। (4) গঠনের এনথ্যালপি এবং বিক্রিয়ার এনথ্যালপির মধ্যে পার্থক্য উদাহরণের সাহায্যে বুঝিয়ে দাও। (5) রাসায়নিক বিক্রিয়াগুলির অবস্থা বল যখন, (i) $\Delta G < 0$, (ii) $\Delta G = 0$ (iii) $\Delta G > 0$ (6) একটি বিক্রিয়া ঘটবে কিনা বল যখন—(i) ΔH এবং ΔS উভয়েরই বৃদ্ধি হয়, (ii) ΔH এবং ΔS উভয়েরই হ্রাস ঘটে, (iii) ΔH কমে কিন্তু ΔS বাড়ে। (7) একটি রাসায়নিক বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে ΔH এবং ΔS উভয়ই পজিটিভ। কী শর্তে বিক্রিয়াটি স্বতঃস্ফূর্তভাবে ঘটবে? (8) একটি সিস্টেমের প্রক্রিয়া চলাকালে ΔE-এর কী ঘটে যখন—(i) $q < 0$ এবং $W < 0$ (ii) $q = 0$ এবং $W > 0$ (iii) $q > 0$ এবং $W < 0$? (9) অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন এবং এনথ্যালপির পরিবর্তন বলতে কী বোঝ? (10) ΔH এবং ΔE-এর মধ্যে সম্পর্ক দেখাও। কী অবস্থায় এই দুটি সমান হয়? (11) এনট্রপির পরিবর্তন বলতে কী বোঝ? (i) উষ্ণতার পরিবর্তনে এবং (ii) চাপের পরিবর্তনে এনট্রপির কীরূপ পরিবর্তন হয়? (12) প্রদত্ত ক্ষেত্রে সিস্টেমের এনট্রপি বাড়বে না কমবে বল— (i) 1 মোল তরল জল বাষ্পে পরিণত হল। (ii) 1 মোল ক্লোরিন গ্যাসকে তরলে পরিণত করা হল। (13) ΔH এবং ΔE-এর মধ্যে সম্পর্ক নির্ণয় করো। উদাহরণ দাও যখন (i) $\Delta H < \Delta E$, (ii) $\Delta H = \Delta E$, (iii) $\Delta H > \Delta E$ (14) তাপগতি বিজ্ঞানের প্রথম এবং দ্বিতীয় সূত্র বিবৃত করো। (15) এনথ্যালপি বলতে কী বোঝ? একটি বিক্রিয়া স্বাভাবিকভাবে ঘটবে কিনা জানার জন্য এনথ্যালপির হ্রাসকে নির্দেশকরূপে ধরা যায় কী? যদি নয় তা হলে কেন? (16) একটি যৌগের এনথ্যালপি বলতে কী বোঝ? এনথ্যালপির এই মানকে একটি বিক্রিয়ার এনথ্যালপি পরিবর্তন নির্ণয়ে কীভাবে ব্যবহার করা যায়? (17) স্বতঃস্ফূর্ত প্রক্রিয়া কী? উদাহরণ দাও। একটি প্রক্রিয়া স্বাভাবিকভাবে ঘটার জন্য তাপগতীয় শর্তগুলি উল্লেখ করো। (18) অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইডকে জলে দ্রবীভূত করলে উৎপন্ন দ্রবণটি শীতল হয়ে যায়—এই ঘটনায় এনথ্যালপির পরিবর্তন, মুক্ত শক্তির পরিবর্তন এবং এনট্রপির পরিবর্তন কেমন হবে বল। (19) প্রদত্ত পরিবর্তনগুলির ক্ষেত্রে এনট্রপির বৃদ্ধি না হ্রাস হবে যুক্তি সহ বল— (i) $Br_2(g) \rightarrow 2Br(g)$ (ii) $H_2O\ (l) \rightarrow H_2O(s)$ (iii) $NaCl\ (aq) \rightarrow NaCl(s)$ (iv) $CaCO_3(s) \rightarrow CaO\ (s) + CO_2(g)$ (20) বন্ধন শক্তি এবং বন্ধন বিয়োজন শক্তি বলতে কী বোঝ বুঝিয়ে দাও।

[C] রচনাভিত্তিক প্রশ্ন :

(1) উদাহরণসহ ব্যাখ্যা দাও : (a) সিস্টেম (b) পরিবেশ (c) অভ্যন্তরীণ শক্তি (d) এনথ্যালপি (e) মুক্ত শক্তি।

(2) শক্তির অবিনাশিতা সূত্রটি বিবৃত করো। তাপ, অভ্যন্তরীণ শক্তি এবং কৃত কার্যের মধ্যে গাণিতিক সম্পর্কটি নির্ণয় করো।

(3) মুক্তশক্তি ও মুক্তশক্তির পরিবর্তন বলতে কী বোঝ? দেখাও যে মুক্তশক্তির পরিবর্তন = নীট কার্য।

(4) ΔH এবং $T\Delta S$ এর সঙ্গে ΔG কীভাবে সম্পর্কিত? $\Delta G = 0$ এর অর্থ কী?

(5) অভ্যন্তরীণ শক্তি পরিবর্তন এবং এনথ্যালপি পরিবর্তন বলতে কী বোঝ?

(6) এনথ্যালপির সংজ্ঞা লেখ। দেখাও যে স্থির চাপে একটি গ্যাসের বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে এনথ্যালপির পরিবর্তনকে নীচের সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়। $\Delta H = \Delta E = \Delta n_g RT$

(7) মুক্তশক্তির সংজ্ঞা লেখ। মুক্তশক্তির উপর উষ্ণতার প্রভাব কী?

(8) স্বতঃস্ফূর্ত প্রক্রিয়া বলতে কী বোঝ? একটি প্রক্রিয়ার স্বতঃস্ফূর্ততার নির্দেশক সম্বন্ধে আলোচনা করো।

(9) কার্য, অভ্যন্তরীণ শক্তি এবং তাপের মধ্যে গাণিতিক সম্পর্কটি নির্ণয় করো।

(10) নীচেরগুলির ক্ষেত্রে সিস্টেমের মোট শক্তির বৃদ্ধি, হ্রাস বা একই থাকবে কিনা বল—

(i) সিস্টেম থেকে তাপ পরিবেশে চলে গেলে, (ii) সিস্টেম দ্বারা কার্য করা হলে, (iii) সিস্টেমের উপর কার্য করা হলে।

(11) একটি বিক্রিয়ার স্বতঃস্ফূর্ততার সঙ্গে মুক্তশক্তির কীরূপ সম্পর্ক যুক্ত?

(12) প্রথম ও দ্বিতীয় তাপগতি সূত্র বিবৃত করো। প্রথম তাপগতি সূত্রের সীমাবদ্ধতা সম্পর্কে আলোচনা করো।

[D] নৈর্ব্যক্তিক প্রশ্ন ঃ

সঠিক উত্তরটি নির্বাচন করো ঃ

(1) বরফ, জল এবং বাষ্পের মধ্যে সবচেয়ে বিশৃঙ্খল অবস্থা হল— (a) বরফ, (b) বাষ্প, (c) জল, (d) বরফ এবং উভয়ই।

(2) স্বতঃস্ফূর্ত পরিবর্তনে সিস্টেমের— (a) শক্তি কমে, (b) এনট্রপি কমে, (c) অভ্যন্তরীণ শক্তি বাড়ে (d) শক্তির পরিবর্তন হয় না।

(3) একটি বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় কোন্‌টি সঠিক? (a) $\Delta H > T\Delta S$ (b) $\Delta H < T\Delta S$ (c) $\Delta H = T\Delta S$ (d) $\Delta H = \Delta S$

(4) শূন্যস্থানে একটি আদর্শ গ্যাসের সমোষ্ণ প্রসারণে কৃতকার্য হবে— (a) শূন্য, (b) সর্বোচ্চ (c) সর্বনিম্ন (d) কোনোটি নয়।

(5) স্বতঃস্ফূর্ত বিক্রিয়ার জন্য ΔG কে হবে, (a) পজিটিভ (b) নেগেটিভ (c) 0 (d) পজিটিভ অথবা নেগেটিভ।

● গাণিতিক প্রশ্ন ঃ

(1) 298 K উষ্ণতায় 1 atm চাপে নীচের সমীকরণটির এনথ্যালপির পরিবর্তন দেওয়া হল। বিক্রিয়াটির অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন নির্ণয় করো। $CH_3COOH\ (l) + 2O_2\ (g) \rightarrow 2CO_2\ (g) + 2H_2O\ (l)\ \Delta H = -874$ kJ [*Ans.* –874 kJ]

(2) 298 K উষ্ণতায় 1 atm চাপে বেঞ্জোয়িক অ্যাসিডের দহনের এনথ্যালপি হল – 2546·0 kJ mol^{-1} বিক্রিয়াটির ΔE এর মান নির্ণয় করো। [*Ans.* –2544·8 kJ mol^{-1}]

(3) 300 K উষ্ণতায় $C_6H_5COOH\ (s)$, $CO_2(g)$ এবং $H_2O(l)$ এর প্রমাণ গঠন এনথ্যালপি যথাক্রমে –408, – 393 এবং –286 kJ. (i) স্থির চাপে এবং (ii) স্থির আয়তনে বেঞ্জোয়িক অ্যাসিডের দহন তাপ নির্ণয় করো।

[*Ans.* –320 kJ mol^{-1}, –3199·7 kJ mol^{-1}]

(4) 4 g হিলিয়ামকে 30°C উষ্ণতায় 1 atm চাপ থেকে 1/10 atm চাপে নিয়ে গেলে গ্যাসটির এনট্রপির পরিবর্তন নির্ণয় করো। ধরে নাও He আদর্শ গ্যাসের মত ব্যবহার করে। [*Ans.* 19·15JK^{-1}]

(5) 300 K উষ্ণতায় 0·5 মোল অক্সিজেন গ্যাসের উপর চাপ 1 atm থেকে বাড়িয়ে 100 atm করায় গ্যাসের সঙ্কোচনে সম্পাদিত কার্যের পরিমাণ নির্ণয় করো। [*Ans.* 5·744 kJ]

(6) মনোক্লিনিক সালফারকে রম্বিক সালফারে রূপান্তরিত করতে এনথ্যালপির পরিবর্তন নির্ণয় করো।

S (রম্বিক) + $O_2(g) \rightarrow SO_2(g)$ $\Delta H = -$ 295·1 kJ, S (মনোক্লিনিক) + $O_2(g) \rightarrow SO_2(g)$ $\Delta H = -$ 296·4 kJ

[*Ans.* $\Delta H = -$ 1·3 kJ]

(7) 1 মোল কঠিন সোডিয়াম ক্লোরাইডকে গলাতে 30·4 kJ পরিমাণ প্রয়োজন হয়। এই গলনে এনট্রপির পরিবর্তন 8·4 Jmol^{-1} সোডিয়াম ক্লোরাইডের গলনাঙ্ক নির্ণয় করো।

(8) 298 K উষ্ণতায় $PCl_5\ (g) = PCl_3(g) + Cl_2(g)$ বিক্রিয়াটির সাম্যধ্রুবক $1·8 \times 10^{-7}$ হলে, বিক্রিয়াটির $\Delta G°$ এর মান নির্ণয় করো।

[*Ans.* 38·5 kJ mol^{-1}]

(9) নীচের বিক্রিয়াটির 298 K উষ্ণতায় সাম্য ধ্রুবকের মান নির্ণয় করো, $2H_2O\ (l) \rightarrow 2H_2(g) + O_2\ (g)$

$\Delta G\ (H_2O) = -237·2$ kJ mol^{-1}, $R = 8·314$ JK^{-1} mol^{-1} [*Ans.* $7·19 \times 10^{-84}$]

(10) 0·75 মোল পরিমাণ একটি আদর্শ গ্যাস 27°C উষ্ণতায় সমোষ্ণ এবং পরাবর্ত প্রক্রিয়া দ্বারা প্রসারিত হয়ে আয়তন 15 L থেকে 25 L হল। এই প্রসারণে কৃতকার্যের পরিমাণ নির্ণয় করো। [*Ans.* –955·73]

(11) 100°C উষ্ণতায় 90g জলের সমোষ্ণ এবং প্রত্যাবর্তক প্রক্রিয়ায় বাষ্পীভবনে ΔH এবং ΔE-এর পরিমাণ নির্ণয় করো। ধরে নাও জল আদর্শ গ্যাসের মত ব্যবহার করে। বাষ্পের বাষ্পীভবন তাপ = 540 cal g–1, R = 2 cal K^{-1} and –1

[*Ans.* ΔH = 48600 cal, ΔE = 44876 cal]

(12) বরফের গলনাঙ্ক 273K ; এই উষ্ণতায় বরফের গলনের এনথ্যালপি 6025 J mol^{-1}. এক মোল বরফের গলনে এনট্রপির পরিবর্তন নির্ণয় করো। [*Ans.* 22·1 kJ mol^{-1}]

(13) যে উষ্ণতায় তরল জল এবং জলীয় বাষ্প সাম্য অবস্থায় থাকে, সেই উষ্ণতা নির্ণয় করো। ΔH_{vap} = 40·73 kJ mol^{-1} এবং ΔS_{vap} = 109 kJ mol^{-1} [*Ans.* T = 373·6 K]

(14) তরল জল থেকে স্টিমে পরিণত হলে এনথ্যালপির পরিবর্তন হয় 40·8kJ mol^{-1}. (উষ্ণতা 373K) প্রক্রিয়াটির $\Delta S°$ নির্ণয় করো। [*Ans.* $\Delta S°$ = 109 J mol^{-1} K^{-1}]

(15) একটি বিক্রিয়া $A \rightarrow B$-এর এনট্রপির পরিবর্তন নির্ণয় করো 298 K উষ্ণতায় $\Delta H°$ = 28·4 kJ mol^{-1} এবং সাম্য-ধ্রুবক K = $1{\cdot}8 \times 10^{-7}$. [*Ans.* 33·8 J mol^{-1} K^{-1}]

(16) একটি বিক্রিয়ার এনথ্যালপির পরিবর্তন – 94·56 kJ mol^{-1}, এনট্রপির পরিবর্তন – 189·12 J K mol^{-1} হলে 300K উষ্ণতায় এবং 600 K উষ্ণতায় ΔG-এর মান নির্ণয় করো। কোন্ উষ্ণতায় বিক্রিয়াটি স্বতঃস্ফূর্ত হবে?

[*Ans.* 300 K তে ΔG = –37·82 kJ, 600 K তে + 18·9 kJ, 300 K তে স্বতঃস্ফূর্ত হবে]

রাসায়নিক গতিতত্ত্ব

[A] অতি সংক্ষিপ্ত উত্তরধর্মী ঃ

(1) বিক্রিয়ার-হারের সংজ্ঞা বল। (2) আপেক্ষিক বিক্রিয়ার হার কাকে বলে? (3) 2টি বিক্রিয়ার উদাহরণ দাও যেগুলির অর্ধজীবনকাল 10^{-10} সেকেন্ড বা তার কম। (4) প্রথম-ক্রম বিক্রিয়া কাকে বলে? এর একক কী? (5) সক্রিয়ণ শক্তি কাকে বলে? (6) দ্বিতীয়-ক্রম বিক্রিয়া কাকে বলে? একটি উদাহরণ দাও।

[B] সংক্ষিপ্ত উত্তরধর্মী ঃ

(1) বিক্রিয়ার হারকে বিক্রিয়ক ও বিক্রিয়াজাত পদার্থের গাঢ়ত্বের সাহায্যে প্রকাশ করো। একটি উদাহরণের সাহায্যে বুঝিয়ে দাও। (2) ভরক্রিয়া সূত্র এবং হার সূত্রের মধ্যে পার্থক্য কী? (3) কয়লার বড়ো খন্ড বায়ুতে সাধারণভাবে জ্বলতে থাকে, কিন্তু কয়লার গুঁড়ো বাতাসে বিস্ফোরণ সহ জ্বলে কেন? (4) বিক্রিয়ার ক্রম কাকে বলে? দ্বিতীয় ক্রম বিক্রিয়ার একটি উদাহরণ দাও? (5) যে বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি কম সেই বিক্রিয়াগুলি দ্রুত ঘটে কেন? (6) সক্রিয়ণ শক্তির সংজ্ঞা দাও এবং ব্যাখ্যা করো। (7) বিক্রিয়কের প্রকৃতি কীভাবে বিক্রিয়ার হারকে প্রভাবিত করে? (8) আণবিক কণাগুলির সংঘর্ষ কীভাবে কার্যকরী হবে? (9) ছদ্ম এক আণবিক বিক্রিয়া বলতে কী বোঝ? উদাহরণ সহ বুঝিয়ে দাও। (10) সক্রিয়ণ শক্তির ধারণার তাৎপর্য কী? এই ধারণার সাহায্যে বিক্রিয়ার হারের উপর একটি অনুঘটকের প্রভাব বুঝিয়ে দাও।

[C] রচনাধর্মী ঃ

(1) কোনো বিক্রিয়ার ক্রম বলতে কী বোঝ? কোনো বিক্রিয়ার আণবিকতা বলতে কী বোঝ উদাহরণসহ বুঝিয়ে দাও।

(2) প্রথম-ক্রম বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক প্রকাশের জন্য একটি সমীকরণ প্রতিষ্ঠা করো।

(3) বিক্রিয়ার অর্ধজীবন কাল বা অর্ধায়ুকাল কাকে বলে? প্রথম-ক্রম বিক্রিয়ার অর্ধজীবন কাল গাঢ়ত্বের উপর নির্ভর করে কী?

(4) ছদ্ম একআণবিক বিক্রিয়া কাকে বলে? একটি উদাহরণসহ বুঝিয়ে দাও।

(5) টিকা লেখ— (i) প্রথম-ক্রম বিক্রিয়ার অর্ধায়ুকাল, (ii) সক্রিয়ণ-শক্তি, (iii) বিক্রিয়া-ধ্রুবক, (iv) কার্যকর-সংঘর্ষ।

(6) একটি বিক্রিয়ার ক্রম এবং আণবিকতা বলতে কী বোঝ?

(7) কোনো বিক্রিয়ার হারকে অনুঘটকের উপস্থিতি কীভাবে প্রভাবিত করে বুঝিয়ে দাও।

(8) একটি বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি বলতে কী বোঝ?

(9) উষ্ণতা বৃদ্ধি করলে সাধারণত হার-ধ্রুবকের মানের বৃদ্ধি ঘটে—এর কারণ ব্যাখ্যা করো।

(10) রাসায়নিক বিক্রিয়ার হারের উপর উষ্ণতার প্রভাব বর্ণনা করো। উষ্ণতার বৃদ্ধিতে বিক্রিয়ায় বেগ অনেক বেড়ে যায় কেন?

(11) বিক্রিয়ার হারের সংজ্ঞা দাও। X—Y বিক্রিয়াটির ক্ষেত্রে বিক্রিয়ার হার প্রকাশিত হয় $-\frac{dx}{dt}$ বা $+\frac{dy}{dt}$ দ্বারা। যোগ এবং বিয়োগ চিহ্নের তাৎপর্য বল।

(12) একটি বিক্রিয়ার ক্রম এবং আণবিকতার মধ্যে পার্থক্য কী?

(13) দ্বিতীয়-ক্রম বিক্রিয়া বলতে কী বোঝ? এর হার ধ্রুবকের এককগুলি কী?

(14) বিক্রিয়ার হার বলতে কী বোঝ? বিক্রিয়ার হার কোন্ কোন্ বিষয়গুলির উপর নির্ভর করে?

(15) প্রথম-ক্রম এবং দ্বিতীয়-ক্রম বিক্রিয়া কাকে বলে? প্রথম-ক্রম বিক্রিয়ার অর্ধায়ুকালের সঙ্গে ওর হার-ধ্রুবকের সম্পর্ক প্রতিষ্ঠা করো।

[D] নৈর্ব্যক্তিক প্রশ্ন ঃ সঠিক উত্তরটি নির্বাচন করো—

(1) কোন্ বিক্রিয়ার আণবিকতা হতে পারে না—(a) 1, (b) 2, (c) 1·5, (d) 3. (2) কম সক্রিয়ণ শক্তি বিশিষ্ট বিক্রিয়া সর্বদা—(a) স্বতঃস্ফূর্ত হয়, (b) অস্বতস্ফূর্ত হয়, (c) দ্রুত হয়, (d) ধীর গতিতে হয়। (3) নীচের কোন্‌টি বিক্রিয়া ধ্রুবককে পরিবর্তিত করবে?—(a) গাঢ়ত্ব, (b) চাপ, (c) উষ্ণতা, (d) অনুঘটক। (4) প্রথম-ক্রম বিক্রিয়ায় 75% বিকারক 1·33 ঘন্টায় অদৃশ্য হয়। বিক্রিয়াটির বিক্রিয়া ধ্রুবক হল—(a) $3{\cdot}6 \times 10^{-3}$/সে, (b) $2{\cdot}8 \times 10^{-4}$/সে, (c) $17{\cdot}2 \times 10^{-3}$/সে, (d) $1{\cdot}8 \times 10^{-6}$/সে। (5) প্রথমক্রম বিক্রিয়ায় 75% সম্পূর্ণ হয় 32 মিনিটে। বিক্রিয়াটি 50% সম্পূর্ণ হবে—(a) 16 মি, (b) 8 মি, (c) 4 মি, (d) 32 মি।

● গাণিতিক প্রশ্ন ঃ

(1) একটি বিয়োজন বিক্রিয়ার অর্ধজীবন কাল হল 50 মিনিট। যখন প্রাথমিক গাঢ়ত্ব দ্বিগুণ করা হয় অর্ধজীবন কাল = 25 মিনিট হয়। বিক্রিয়াটির ক্রম নির্ণয় করো। [*Ans.* এক ক্রম]

(2) $2N_2O_5 \rightarrow 2NO_2 + O_2$ এই বিয়োজন বিক্রিয়াটি হল এক ক্রম বিক্রিয়া। N_2O_5 এর অর্ধজীবনকাল নির্ণয় করো। 8 ঘণ্টা পর N_2O_5 এর কত ভগ্নাংশ বিয়োজিত হবে? [*Ans.* 20600 সে ; 0·622]

(3) একটি প্রথম ক্রম বিক্রিয়ার 340 সেকেন্ড পর বিক্রিয়কের 62·5% বিয়োজিত হয়। বিক্রিয়াটির হার ধ্রুবক নির্ণয় করো। বিক্রিয়কের 80% বিয়োজিত হতে কত সময় লাগবে নির্ণয় করো। [*Ans.* $2{\cdot}08 \times 10^{-3}$ সে$^{-3}$ সে$^{-1}$ 138 সে]

(4) একটি গ্যাসীয় বিক্রিয়া $A \rightarrow B$ হল প্রথম ক্রম। 75 সে পর 35·3% *A* বিয়োজিত হয়। বিক্রিয়াটির অর্ধজীবন কাল নির্ণয় করো এবং 90% *A* এর বিয়োজিত হতে প্রয়োজনীয় সময় নির্ণয় করো। [*Ans.* 1200 সে, 3970 সে]

(5) H_2O_2 এর বিভাজন ক্রিয়া প্রথম-ক্রমের এবং বেগ ধ্রুবক 3×10^{-2} মি$^{-1}$ হলে H_2O_2-এর এক তৃতীয়াংশ বিভাজনে কত সময় লাগবে? [*Ans.* 13·5 মি]

(6) প্রথম-ক্রম বিক্রিয়ার অর্ধজীবনকাল নির্ণয় করো যার আপেক্ষিক বিক্রিয়ার হার (a) 100 সে$^{-1}$ (b) 2 মিনিট$^{-1}$।
[*Ans.* $3{\cdot}465 \times 10^{-5}$ সে, 0·3465 মি]

(7) একটি প্রথম-ক্রম বিক্রিয়ায় ক্রম বিক্রিয়ার 12·75% সম্পূর্ণ হয় 32 মিনিটে। বিক্রিয়াটির বিক্রিয়া ধ্রুবক নির্ণয় করো।
[*Ans.* $k = 1{\cdot}048 \times 10^{-3}$ sec^{-1}]

(8) NH_4NO_2-এর জলীয় দ্রবণের বিয়োজন বিভিন্ন সময়ের ব্যবধানে যে N_2 পাওয়া গেল নীচে দেখান হল। দেখাও যে বিক্রিয়াটি প্রথম ক্রমের।

সময় (সে)	1190	1360	∞
N_2 এর আয়তন মিলিলিটারে	5	7·3	9·5

(9) $K + NH_3 \rightarrow K^+ + NH_2^- + 1/2H_2$ বিক্রিয়াটিতে যদি K-এর প্রাথমিক গাঢ়ত্ব $4{\cdot}13 \times 10^{-3}$ M হয় এবং 4 ঘণ্টা 34 মিনিট পর $8{\cdot}77 \times 10^{-4}$ M হয়। বিক্রিয়া ধ্রুবকের মান নির্ণয় করো। দেখাও বিক্রিয়াটি প্রথম-ক্রমের। [*Ans.* $5{\cdot}55 \times 10^{-2}$/ঘন্টা]

(10) একটি প্রথম-ক্রম বিক্রিয়ার অর্ধজীবন কাল 100 সে। বিক্রিয়ায় ধ্রুবকের মান নির্ণয় করো। [*Ans.* $6{\cdot}93 \times 10^{-3}$ সে]

4 

দ্রবণের রসায়ন [Chemistry of Solutions]

● [A] তড়িৎ-অবিশ্লেষ্য পদার্থের দ্রবণ ● [Non-electrolytic solution]

4.1. দ্রবণ [Solution]

দুই বা ততোধিক পদার্থের (কঠিন, তরল বা গ্যাসীয়) সমসত্ত্ব মিশ্রণের উপাদানগুলির আপেক্ষিক পরিমাণ যদি একটি নির্দিষ্ট সীমা পর্যন্ত পরিবর্তিত করা যায়, তাহলে ওই মিশ্রণটিকে দ্রবণ বলে। দ্রবণের প্রতি অংশের গঠন, ভৌত এবং রাসায়নিক ধর্ম একই হয়।

● **দ্রবণের প্রকারভেদ** (Different types of solutions) ঃ

(1) **গ্যাসে গ্যাসীয় পদার্থের দ্রবণ ঃ** একটি গ্যাসের মধ্যে অপর একটি গ্যাস (পরস্পরের মধ্যে বিক্রিয়া না হলে) মেশালে এই রকম দ্রবণ তৈরি হয়। যেমন, বায়ু হল নাইট্রোজেন এবং অক্সিজেনের দ্রবণ।

(2) **গ্যাসে তরলের দ্রবণ ঃ** যেমন, বায়ুর মধ্যে জলীয় বাষ্প মিশে থাকে।

(3) **গ্যাসে কঠিনের দ্রবণ ঃ** যেমন, কর্পূর ঊর্ধ্বপাতিত হয়ে বাতাসে মিশে এই জাতীয় দ্রবণ উৎপন্ন করে। বাতাসে ধূলিকণা বা ধোঁয়া হল এই জাতীয় দ্রবণ।

(4) **তরলে গ্যাসের দ্রবণ ঃ** অ্যামোনিয়া, হাইড্রোজেন ক্লোরাইড প্রভৃতি গ্যাস জলে দ্রবীভূত হয়ে এই জাতীয় দ্রবণ উৎপন্ন করে।

(5) **তরলে তরল পদার্থের দ্রবণ ঃ** যেমন, জলে অ্যালকোহল অথবা গ্লিসারল মেশালে এই জাতীয় দ্রবণ উৎপন্ন হয়।

(6) **তরলে কঠিনের দ্রবণ ঃ** তরল দ্রাবকে কঠিন দ্রাব মেশালে কঠিন পদার্থের সমসত্ত্ব দ্রবণ উৎপন্ন হয়। যেমন, জলের মধ্যে চিনি, তুঁতে মেশালে এই জাতীয় দ্রবণ প্রস্তুত হয়।

(7) **কঠিনে তরলের দ্রবণ ঃ** যেমন, জিঙ্কের মধ্যে তরল পারদ দ্রবীভূত হয়ে জিঙ্ক অ্যামালগাম উৎপন্ন করে।

(8) **কঠিনে কঠিন পদার্থের দ্রবণ ঃ** যেমন, দুটি কঠিন ধাতু তামা ও জিঙ্ক পরস্পর সমসত্ত্ব ভাবে মিশে উৎপন্ন করে পিতল।

● **মোল ভগ্নাংশ (Mole fraction) (x) ঃ কোনো দ্রবণে উপস্থিত একটি নির্দিষ্ট উপাদানের (দ্রাব বা দ্রাবক) মোল সংখ্যা এবং দ্রবণে উপস্থিত সব উপাদানগুলির মোট মোল সংখ্যার অনুপাতকে ওই নির্দিষ্ট উপাদানের মোল ভগ্নাংশ বলে।**

যেমন, একটি দ্রবণে n_1 মোল দ্রাব এবং n_2 মোল দ্রাবক উপস্থিত থাকলে

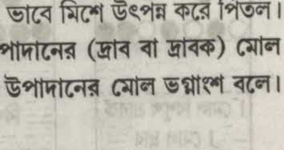
দ্রাবটির মোল ভগ্নাংশ $x_1 = \frac{n_1}{n_1+n_2}$ এবং **দ্রাবকটির মোল ভগ্নাংশ** $x_2 = \frac{n_2}{n_1+n_2}$ হবে।

দ্রাব এবং দ্রাবকের মোল ভগ্নাংশের যোগফল = 1 হয় অর্থাৎ $\frac{n_1}{n_1+n_2}+\frac{n_2}{n_1+n_2} = 1$

কোনো দ্রবণে i সংখ্যক উপাদান উপস্থিত থাকলে, উপাদানগুলির মোল ভগ্নাংশ যথাক্রমে $x_1 = \frac{n_1}{n_1+n_2+\ldots+n_i}$, $x_2 = \frac{n_2}{n_1+n_2+\ldots+n_i}$ ইত্যাদি হবে। বা, $x_1 + x_2 + x_3 + \ldots + x_i = 1$ হবে।

4.2. দ্রবণের বাষ্পচাপ [Vapour pressure of solution]

(1) **তরলের বাষ্পচাপ ঃ** তরল সবসময় বাষ্পে পরিণত হতে থাকে। একটি আবদ্ধ পাত্রের মধ্যে কোনো তরল রাখলে, ওই তরলের উপরতল থেকে বাষ্পায়নের ফলে তরলের অণুগুলি ক্রমে বেরিয়ে এসে উপরের ফাঁকা স্থানটিকে ভর্তি করতে থাকে। বাষ্পের অণুগুলি ওই ফাঁকা জায়গায় এলোমেলোভাবে ছোটাছুটি করতে থাকে এবং কিছু সংখ্যক অণু পাত্রের দেয়ালে অথবা তরলের উপরতলে ধাক্কা খেয়ে আবার তরলে ফিরে আসে। তরলের অণুগুলি পাত্রের দেয়ালের উপর আঘাত করার ফলে একটি চাপের সৃষ্টি হয়—একেই বাষ্পচাপ বলে। প্রথম অবস্থায় তরলের অণুগুলি যে হারে বাষ্পায়িত হয়ে তরলতল থেকে বেরিয়ে যেতে থাকে, বাষ্পের অণুগুলির তরলে ফিরে আসার হার তার থেকে কম হয়—এর ফলে ওই ফাঁকা জায়গায় বাষ্পের পরিমাণ ক্রমে



চিত্র 4.1 ঃ তরলের বাষ্পচাপ

বাড়তে থাকে। ওই ফাঁকা জায়গায় অণুগুলির সংখ্যা বাড়তে বাড়তে, শেষে এমন একটা সময় আসে, যখন তরলতল থেকে যতগুলি অণু বেরিয়ে বাষ্পে পরিণত হতে থাকে, ওই ফাঁকা স্থানে থাকা বাষ্প থেকে ঠিক ততগুলি অণু ঘনীভূত হয়ে তরলে পরিণত হতে থাকে। অর্থাৎ তরল থেকে যে হারে বাষ্পায়ন হতে থাকে, বাষ্প থেকে ঠিক সেই হারে ঘনীভবন হতে থাকে। এভাবে বাষ্পীভবন এবং ঘনীভবনের মধ্যে একটি সাম্য অবস্থার সৃষ্টি হয়। এই অবস্থায় তরলের উপরে থাকা বাষ্প হল সম্পৃক্ত বাষ্প এবং ওই সম্পৃক্ত বাষ্প পাত্রের দেয়ালে যে চাপ প্রয়োগ করে, তাকেই **সম্পৃক্ত বাষ্প চাপ** বলা হয়। অর্থাৎ

● **কোনো নির্দিষ্ট উষ্ণতায়, একটি আবদ্ধ পাত্রে রাখা তরল এবং তরলতলের ওপরে থাকা বাষ্প সাম্য অবস্থায় থাকাকালে পাত্রের দেয়ালে ওই বাষ্প দ্বারা প্রযুক্ত চাপকে বাষ্পচাপ বলে।**

কোনো তরলের বাষ্পচাপ নীচের বিষয়গুলির উপর নির্ভর করে ঃ

(i) তরলের প্রকৃতি ঃ প্রতিটি তরলের আন্তরাণবিক আকর্ষণ বল ভিন্ন হওয়ার জন্য, প্রতিটি তরলের বাষ্পচাপ ভিন্ন হয়। যে তরলের আন্তরাণবিক আকর্ষণ বল কম হয়, সেই তরলের অণুগুলি সহজেই তরল অবস্থা থেকে বাষ্পীয় অবস্থায় চলে যায়— ফলে বাষ্পের পরিমাণ বাড়ে। এর ফলে বাষ্পচাপ বাড়ে। যেমন নির্দিষ্ট উষ্ণতায় জলের বাষ্পচাপের চেয়ে ইথারের বাষ্পচাপ বেশি হয়। কারণ ইথারের আন্তরাণবিক আকর্ষণ বল, জলের আন্তরাণবিক আকর্ষণ বলের চেয়ে অনেক কম।

(ii) উষ্ণতা ঃ উষ্ণতা বৃদ্ধির সাথে সাথে তরলের বাষ্পচাপ বাড়ে, কারণ উষ্ণতা বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে তরলের অণুগুলির গতিশক্তি বাড়তে থাকে। এর ফলে বেশি পরিমাণ তরল অণু তরলতল ত্যাগ করে বাষ্পীয় অবস্থায় যেতে থাকে—ফলে বাষ্পের পরিমাণ বাড়ে, তাই বাষ্পচাপ বৃদ্ধি পায়।

(2) দ্রবণের বাষ্পচাপ ঃ ধরা যাক, একটি উদ্‌বায়ী দ্রাবকের (জল) সঙ্গে একটি অনুদ্‌বায়ী দ্রাব যোগ করে দ্রবণ প্রস্তুত করা হল (যেমন, জলে চিনির দ্রবণ)। যখন দ্রবণটির বাষ্পীভবন হয়, বাষ্পীয় অবস্থায় কেবল তরলটির (জলের) অণুই উপস্থিত থাকে, কারণ দ্রাবটি অনুদ্‌বায়ী বলে সাধারণ উষ্ণতায় বাষ্পে পরিণত হতে পারে না। এর ফলে উৎপন্ন বাষ্পের পরিমাণ কম হয়। ফলে, বিশুদ্ধ দ্রাবকের বাষ্প চাপের চেয়ে এই দ্রবণটির বাষ্পচাপ কম হয়। এর কারণ হল,—তরলের বাষ্পায়ন হল তরলের উপরতলের ঘটনা—কেবলমাত্র তরলের উপরতল থেকেই বাষ্পায়ন হতে থাকে। এখন জলে চিনি যোগ করার ফলে চিনির দ্রবণে দেখা যায় জলের উপরিতলটিতে উদ্‌বায়ী জলের অণুর সাথে বেশ কিছু সংখ্যক অনুদ্‌বায়ী চিনির অণুও উপস্থিত থাকে এবং উপরতলের বেশ কিছুটা স্থান অধিকার করে থাকে। এর ফলে দ্রবণের উপরিতলে উদ্‌বায়ী দ্রাবকের অণুর সংখ্যা কমে যায়। এর ফলে বিশুদ্ধ দ্রাবকের উপরিতলে যত সংখ্যক অণু থাকার কথা, তার চেয়ে অনেক কম সংখ্যক দ্রাবক অণু উপস্থিত থাকে। যার জন্য বিশুদ্ধ দ্রাবকের ক্ষেত্রে উপরতল থেকে বাষ্পীয় অবস্থায় যেতে যত সংখ্যক অণু সুযোগ পায়, দ্রবণের ক্ষেত্রে তার চেয়ে অনেক কম সংখ্যক উদ্‌বায়ী দ্রাবক অণু সেই সুযোগ পায়। ফলে উপরের ফাঁকা জায়গায় উৎপন্ন বাষ্পের পরিমাণ অপেক্ষাকৃত কম হয়। ফলে দ্রবণের বাষ্পচাপ, বিশুদ্ধ তরলের বাষ্পচাপের চেয়ে অনেক কমে যায়।



দ্রাবের উপস্থিতির জন্য দ্রাবকের বাষ্পচাপ হ্রাস
● = দ্রাবক কণা ○ = দ্রাব কণা

চিত্র 4.2

4.3. বাষ্পচাপ এবং রাউল্টের সূত্র [Vapour pressure and Roult's Law]

(i) দুটি উদ্‌বায়ী তরল দ্বারা প্রস্তুত তরল-তরলের দ্রবণের ক্ষেত্রে রাউল্টের সূত্র ঃ

দুটি উদ্‌বায়ী তরল দ্বারা প্রস্তুত তরলে-তরলের দ্রবণের ক্ষেত্রে রাউল্টের সূত্রটি হল—

কোনো নির্দিষ্ট উষ্ণতায়, দুই বা ততোধিক উদ্‌বায়ী তরল দ্বারা গঠিত দ্রবণের প্রতিটি উপাদানের আংশিক বাষ্পচাপ, বিশুদ্ধ উপাদানটির বাষ্পচাপ এবং মোল ভগ্নাংশের গুণফলের সমান হয়।

ধরা যাক, দুটি উদ্‌বায়ী তরল A এবং B দ্বারা গঠিত দ্রবণে, A এবং B তরল দুটির আংশিক বাষ্পচাপ যথাক্রমে P_A এবং P_B এবং এই তরল উপাদান দুটির মোল ভগ্নাংশ হল যথাক্রমে X_A এবং X_B । বিশুধ অবস্থায় তরলদুটির বাষ্পচাপ যথাক্রমে P_A^0 এবং P_B^0 হলে, রাউল্টের সূত্রানুযায়ী $P_A \propto X_A$ বা, $P_A = P_A^0 \times X_A$ এবং $P_B \propto X_B$ বা, $P_B = P_B^0 \times X_B$ হবে।

(ii) একটি উদ্‌বায়ী তরলে একটি অনুদ্‌বায়ী কঠিন দ্রবীভূত থাকলে অর্থাৎ, তরলে কঠিনের দ্রবণের ক্ষেত্রে রাউল্টের সূত্র ঃ

একটি উদ্‌বায়ী তরলে একটি কঠিন পদার্থ (অনুদ্‌বায়ী) দ্রবীভূত করে দ্রবণ প্রস্তুত করলে, দেখা যায় যে, কোনো নির্দিষ্ট উষ্ণতায় বিশুদ্ধ তরলটির বাষ্পচাপের চেয়ে দ্রবণটির বাষ্পচাপ অপেক্ষাকৃত কম হয়।

এই জাতীয় দ্রবণের ক্ষেত্রে রাউল্টের সূত্রটি হল—

নির্দিষ্ট উষ্ণতায় একটি উদ্‌বায়ী দ্রাবক এবং অনুদ্‌বায়ী দ্রাব দ্বারা গঠিত দ্রবণের বাষ্পচাপ, দ্রাবকটির মোল ভগ্নাংশের সমানুপাতিক হয়, অর্থাৎ বিশুদ্ধ দ্রাবকটির বাষ্পচাপ এবং মোল ভগ্নাংশের গুণফলের সমান হয়।

ধরি, দ্রবণে থাকা অবস্থায় উদ্‌বায়ী দ্রাবক A এর বাষ্পচাপ $= P_A$ এবং মোল ভগ্নাংশ $= X_A$

বিশুদ্ধ অবস্থায় A এর বাষ্পচাপ $= P_A^0$, তাহলে রাউল্টের সূত্রানুযায়ী—$P_A \propto X_A$ বা, $\boxed{P_A = P_A^0 \times X_A}$

অর্থাৎ দ্রবণের বাষ্পচাপ = বিশুদ্ধ দ্রাবকের বাষ্পচাপ × দ্রাবকের মোল ভগ্নাংশ।

● **আদর্শ দ্রবণ** (Real solutions) **ঃ যে দ্রবণ, যে-কোনো গাঢ়ত্বে এবং যে-কোনো উষ্ণতায় রাউল্টের সূত্র মেনে চলে, সেই দ্রবণকে আদর্শ দ্রবণ বলা হয়।**

যে দুটি উপাদানের মিশ্রণে আদর্শ দ্রবণ প্রস্তুত হয় সেই দুটি উপাদানের— **(i)** আণবিক গঠন প্রায় একই রকম হয়। **(ii)** আণবিক আকার প্রায় একই রকম হয় এবং **(iii)** দুই উপাদানের প্রত্যেকের আন্তরাণবিক আকর্ষণ বল প্রায় সমান হবে। এই জাতীয় দ্রবণে উপাদান অণুদুটির মধ্যে আকর্ষণ বল (A — B), বিশুদ্ধ উপাদান দুটির অণু-অণুর মধ্যে আকর্ষণ বলের প্রায় সমান হবে।

রাউল্টের সূত্রানুযায়ী আদর্শ দ্রবণের উপাদান দুটির আংশিক বাষ্পচাপ হল $P_A = P_A^0 \times X_A$ এবং $P_B = P_B^0 \times X_B$

এবং দ্রবণের মোট চাপ $P = P_A + P_B = (P_A^0 \times X_A + P_B^0 \times X_B)$ ... ... **(4.1)**

আদর্শ দ্রবণে নীচের বৈশিষ্ট্যগুলি দেখা যায়—

(i) দুটি উপাদানকে পরস্পরের সঙ্গে মেশাবার সময় উষ্ণতার কোনো পরিবর্তন হয় না।

(ii) দুটি উপাদানকে পরস্পরের সঙ্গে মেশালে, উৎপন্ন দ্রবণের আয়তন = উপাদান দুটির আয়তনের যোগফলের সমান হবে। উদাহরণ— **(a)** বেঞ্জিন এবং টলুইনের মিশ্রণে উৎপন্ন দ্রবণ, **(b)** ইথাইল ব্রোমাইড ও ইথাইল আয়োডাইডের মিশ্রণে উৎপন্ন দ্রবণ। **(c)** ক্লোরোবেঞ্জিন ও ব্রোমোবেঞ্জিনের মিশ্রণে উৎপন্ন দ্রবণ।

অনাদর্শ দ্রবণ (Non-ideal solutions) **ঃ যে দ্রবণ রাউল্টের সূত্রটি মেনে চলে না, তাকে অনাদর্শ দ্রবণ বলে।**

সুতরাং অনাদর্শ দ্রবণের ক্ষেত্রে (i) $P_A \neq P_A^0 \times X_A$ এবং $P_B \neq P_B^0 \times X_B$ (ii) $\Delta V_{\text{মিশ্রণ}} \neq 0$ এবং (iii) $\Delta H_{\text{মিশ্রণ}} \neq 0$। উদাহরণ—(*a*) অ্যাসিটোন ও ব্রোমোফর্মের মিশ্রণ (*b*) জল ও HNO_3 এর মিশ্রণ।

4.4. দ্রবণের কলিগেটিভ বা সমাবর্তী ধর্ম [Colligative properties of solutions]

লঘু দ্রবণ আদর্শ দ্রবণের মতো ব্যবহার করে। কোনো অনুদ্‌বায়ী দ্রাবের লঘু দ্রবণের কতকগুলি ধর্ম, দ্রবণে দ্রবীভূত দ্রাবের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে না—নির্ভর করে দ্রবণের গাঢ়ত্বের উপর, অর্থাৎ দ্রবণে উপস্থিত **দ্রাবের কণার (অণু বা আয়ন)** সংখ্যার উপর। লঘু দ্রবণের এই ধর্মগুলিকে দ্রবণের সমাবর্তী ধর্ম বলা হয়।

● **সংজ্ঞা ঃ কোনো দ্রবণের যে ধর্মগুলি দ্রাবের প্রকৃতির উপর নির্ভর না করে, কেবল দ্রাবের কণার (অণু বা আয়ন) সংখ্যার উপর নির্ভর করে, দ্রবণের সেই ধর্মগুলিকে সমাবর্তী ধর্ম** (Colligative properties) **বলা হয়।**

লঘু দ্রবণের সমাবর্তী ধর্ম দ্রাবের অণু অথবা কণার সংখ্যার উপর নির্ভর করে—দ্রাবের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে না। যেমন, দুটি পৃথক ধর্ম বিশিষ্ট দ্রাব X এবং Y-এর প্রত্যেকটির লঘু দ্রবণে যদি X- এর কণার সংখ্যা = Y-এর কণার সংখ্যা হয়, তাহলে X এবং Y-এর প্রকৃতি যাই হোক না কেন, দ্রবণ দুটির সমাবর্তী ধর্মগুলি এক রকম হবে।

লঘু দ্রবণের প্রধান চারটি সমাবর্তী ধর্মগুলি হল—**(i) দ্রাবকের বাষ্পচাপের আপেক্ষিক অবনমন, (ii) দ্রবণের অসমোটিক বা অভিস্রাবণ চাপ, (iii) দ্রাবকের স্ফুটনাঙ্কের বৃদ্ধি, এবং (iv) দ্রাবকের হিমাঙ্কের অবনমন।**

4.5. দ্রাবকের বাষ্পচাপের আপেক্ষিক অবনমন [Relative lowering of vapour pressure]

কোনো দ্রাবকের মধ্যে কোনো অনুদ্‌বায়ী দ্রাব দ্রবীভূত করলে দেখা যায় যে, কোনো নির্দিষ্ট উষ্ণতায় বিশুদ্ধ দ্রাবকের বাষ্পচাপের চেয়ে দ্রবণটির বাষ্পচাপ কমে যায়। বাষ্পচাপের আপেক্ষিক অবনমন বলতে, দ্রবণে থাকা অবস্থায় দ্রাবকের বাষ্পচাপের অবনমন এবং বিশুদ্ধ দ্রাবকের বাষ্পচাপের অনুপাত বোঝায়।

● **রাউল্টের সূত্র—নির্দিষ্ট উষ্ণতায়, কোনো অনুদ্বায়ী দ্রাব কোনো দ্রাবকের মধ্যে দ্রবীভূত থাকলে দ্রাবকের বাষ্পচাপের যে আপেক্ষিক অবনমন হয়, তা দ্রবণে উপস্থিত দ্রাবের মোল ভগ্নাংশের সমান হয়।**

কোনো দ্রাবকের মধ্যে একটি অনুদ্বায়ী দ্রাব যোগ করলে উৎপন্ন দ্রবণের বাষ্পচাপ, বিশুদ্ধ দ্রাবকের বাষ্পচাপের চেয়ে কম হয়।

এখন X_A = দ্রাবকের মোল ভগ্নাংশ, X_B = দ্রাবের মোল ভগ্নাংশ, $P_A{}^0$ = বিশুদ্ধ দ্রাবকের বাষ্পচাপ, P = দ্রবণের বাষ্পচাপ এবং P_A = দ্রবণে থাকা অবস্থায় দ্রাবকের বাষ্পচাপ হলে, যেহেতু দ্রাব অনুদ্বায়ী তাই বাষ্পচাপ বৃদ্ধি বা হ্রাসে দ্রাবের কোনো ভূমিকা থাকে না। সুতরাং দ্রবণের বাষ্পচাপের কারণ হল দ্রাবক। অতএব দ্রবণের বাষ্পচাপ P = দ্রবণে থাকা অবস্থায় দ্রাবকের বাষ্পচাপ P_A অর্থাৎ $P = P_A$

রাউল্টের সূত্রানুযায়ী দ্রাবকের বাষ্পচাপ = বিশুদ্ধ অবস্থায় দ্রাবকের বাষ্পচাপ $P_A{}^0$ × দ্রাবকের মোল ভগ্নাংশ X_A

বা, $P_A = P_A{}^0 \times X_A$ বা, $P = P_A = P_A{}^0 X_A$ ... ... (4.2)

যেহেতু X_A সর্বদা 1-এর কম হয়। সুতরাং দ্রবণের বাষ্পচাপ সর্বদা বিশুদ্ধ দ্রাবকের বাষ্পচাপ $P_A{}^0$-এর চেয়ে কম হবে।

দুটি উপাদান A এবং B দ্বারা গঠিত দ্রবণের ক্ষেত্রে, $X_A + X_B = 1$ বা, $X_A = 1 - X_B$

X_A-এর এই মানটি (4.2) নং সমীকরণে বসিয়ে $P_A = P_A{}^0 (1 - X_B)$ বা, $P_A = P_A{}^0 - P_A{}^0 X_B$

বা, $P_A{}^0 - P_A = P_A{}^0 X_B$ বা, $\boxed{\frac{P_A^0 - P_A}{P_A^0} = X_B}$ ... ... (4.3)

এখানে $(P_A{}^0 - P_A)$ = দ্রবণ গঠনে দ্রাবকের **বাষ্পচাপের অবনমন** এবং $\left[\frac{P_A^0 - P_A}{P_A^0}\right]$ = **দ্রাবকের বাষ্পচাপের আপেক্ষিক অবনমন।**

অর্থাৎ **দ্রাবকের বাষ্পচাপের আপেক্ষিক অবনমন = দ্রাবের মোল ভগ্নাংশ।**

● **বাষ্পচাপের আপেক্ষিক অবনমন থেকে দ্রাবের আণবিক গুরুত্ব নির্ণয় করার পদ্ধতি ঃ**

জানা ওজনের দ্রাবকের মধ্যে জানা ওজনের দ্রাব দ্রবীভূত করে, দ্রবণে থাকা অবস্থায় দ্রাবকের বাষ্পচাপের আপেক্ষিক অবনমন পরীক্ষা দ্বারা নির্ণয় করা হয়। দ্রাবকের সঙ্গে দ্রাব যোগ করার ফলে রাউল্টের সূত্রানুযায়ী দ্রাবকের বাষ্পচাপের অবনমন = $\left(P_A^0 - P_A\right)/P_A^0 = X_B$

ধরি, গৃহীত দ্রাবক ও দ্রাবের ওজন যথাক্রমে W_A ও W_B এবং তাদের আণবিক গুরুত্ব হল যথাক্রমে M_A এবং M_B। তাহলে দ্রাবের মোল ভগ্নাংশ $X_B = \frac{n_B}{n_A + n_B}$; n_A এবং n_B যথাক্রমে দ্রাবক এবং দ্রাবের মোল সংখ্যা।

এবং $n_A = \frac{W_A}{M_A}$ এবং $n_B = \frac{W_B}{M_B}$ সুতরাং $X_B = \frac{W_B/M_B}{W_A/M_A + W_B/M_B}$ ... ... (4.4)

যেহেতু দ্রবণটি আদর্শ এবং লঘু দ্রবণ, সুতরাং দ্রাবকের তুলনায় W_B/M_B অতি ক্ষুদ্র; তাই রাশিটিকে বাদ দিলে 4.4 নং সমীকরণটির ভগ্নাংশের হর $= W_A/M_A + W_B/M_B = W_A/M_A$ হয়,

এই মান (4.4) সমীকরণে বসিয়ে, $X_B = \frac{W_B/M_B}{W_A/M_A} = \frac{W_B M_A}{W_A M_B}$

সুতরাং $\frac{P_A^0 - P_A}{P_A^0} = \frac{W_B M_A}{W_A M_B}$ বা, M_B (দ্রাবের আণবিক গুরুত্ব) $= \frac{W_B M_A}{W_A (P_A^0 - P_A)/P_A^0}$ ... ... (4.5)

বা, **দ্রাবের আণবিক গুরুত্ব = $W_B M_A/(W_A$ × বাষ্পচাপের আপেক্ষিক অবনমন$)$**

● **গাণিতিক উদাহরণ (Numerical Examples) ঃ**

(1) 20°C উষ্ণতায় জলের বাষ্পচাপ 17·5 mm Hg এবং একটি চিনির দ্রবণের বাষ্পচাপের অবনমন 0·06 mm Hg হলে, (i) বাষ্পচাপের আপেক্ষিক অবনমন, (ii) দ্রবণের বাষ্পচাপ, (iii) চিনি এবং জলের মোল ভগ্নাংশ নির্ণয় করো।

Ans. (i) জলের বাষ্পচাপ $P_A^o = 17·5$ mm Hg, দ্রবণের বাষ্পচাপের অবনমন $(P_A^o - P_A) = 0·06$ mm Hg

সুতরাং বাষ্পচাপের আপেক্ষিক অবনমন $= \frac{P_A^o - P_A}{P_A^o} = \frac{0·06}{17·5} = \mathbf{0·003428} = 3·428 \times 10^{-3}$

(ii) দ্রবণের বাষ্পচাপ $P = P_A = P_A^o - (P_A^o - P_A) = 17·5 - 0·06 = \mathbf{17·44\ mm\ Hg}$

(iii) চিনির (দ্রাবের) মোল ভগ্নাংশ : $(X_B) = \frac{P_A^o - P_A}{P_A^o} = \mathbf{0·003428}$

দ্রাবক জলের মোল ভগ্নাংশ X_A। এখন, $X_A + X_B = 1$ বা, $X_A = 1 — X_B = (1 - 0·003428) = \mathbf{0·9966}$

(2) 289 K উষ্ণতায় জলের বাষ্পচাপ 23·75 mm Hg. একই উষ্ণতায় 5% ইউরিয়ার ($NH_2CO\ NH_2$) জলীয় দ্রবণের বাষ্পচাপ নির্ণয় করো।

Ans. এখানে 5% ইউরিয়ার জলীয় দ্রবণ বলতে 100 g ইউরিয়ার জলীয় দ্রবণে 5 g ইউরিয়া এবং অবশিষ্ট 95 g জল থাকে। তাহলে আমরা পাই—ইউরিয়ার ওজন $W_B = 5$ g, জলের ওজন $W_A = 95$ g ইউরিয়ার আণবিক গুরুত্ব $M_B = 60$, জলের আণবিক গুরুত্ব $M_A = 18$, জলের (দ্রাবক) বাষ্পচাপ $P_A^o = 23·75$ mm Hg, দ্রবণের বাষ্পচাপ P_A = ?

আমরা জানি $\frac{P_A^O - P_A}{P_A^O} = \frac{W_B M_A}{W_A M_B}$ বা, $\frac{23·75 - P_A}{23·75} = \frac{5 \times 18}{95 \times 60}$

বা, $23·75 - P_A = \frac{5 \times 18 \times 23·75}{95 \times 60} = 0·375$

বা, $P_A = 23·75 - 0·375 = \mathbf{23·375\ mm\ Hg}$

(3) কোনো নির্দিষ্ট উষ্ণতায় বিশুদ্ধ বেঞ্জিনের বাষ্পচাপ 640 mm Hg, একটি অনুদ্বায়ী জৈব যৌগের 2·175g কে 39g বেঞ্জিনে যোগ করে যে দ্রবণ প্রস্তুত করা হয়, একই উষ্ণতায় তার বাষ্পচাপ 600 mm Hg হয়। কঠিন যৌগটির আণবিক ভর নির্ণয় করো।

Ans. এখানে দ্রাবক বেঞ্জিনের বাষ্পচাপ $P_A^O = 640$ mm Hg, দ্রবণে দ্রাবকের বাষ্পচাপ $P_A = 600$ mm Hg, বাষ্পচাপের অবনমন $(P_A^O - P_A) = (640 — 600) = 40$ mm Hg, দ্রাব জৈব যৌগের ওজন $W_B = 2·175$ g, দ্রাবকের ওজন $W_A = 39$ g, দ্রাবক বেঞ্জিনের আণবিক ভর = 78, দ্রাবের আণবিক ভর = ?

$\frac{P_A^O - P_A}{P_A^O} = \frac{W_B \times M_A}{W_A \times M_B}$ বা, $\frac{40}{640} = \frac{2·175 \times 78}{39 \times M_B}$ বা, $M_B = \frac{2·175 \times 78 \times 640}{39 \times 40} = 69·6$

(4) 373 K উষ্ণতায় গ্লুকোজের জলীয় দ্রবণের বাষ্পচাপ 750 mm Hg দ্রবণটির মোলালিটি এবং মোল ভগ্নাংশ নির্ণয় করো।

Ans. রাউল্টের সূত্র থেকে পাই, নির্দিষ্ট উষ্ণতায়,

দ্রবণের আংশিক বাষ্পচাপ (P_A) = উপাদানটির মোলভগ্নাংশ (X_A) × উপাদানটির বিশুদ্ধ অবস্থায় বাষ্পচাপ (P_A^O)

অর্থাৎ $P_A = P_A^O \times X_A$ বা, $X_A = \frac{P_A}{P_A^O} = \frac{750}{760} = \mathbf{0·9868}$ অর্থাৎ, দ্রাবকটির মোল ভগ্নাংশ = 0·9868

সুতরাং, দ্রাবটির মোল ভগ্নাংশ $X_B = 1 - 0·9868 = 0·0132$

মোলালিটি $(m) = \frac{\text{দ্রাবের মোল ভগ্নাংশ}}{\text{দ্রাবকের মোল ভগ্নাংশ} \times \text{দ্রাবকের আণবিক গুরুত্ব}} = \frac{0·0132 \times 1000}{0·9868 \times 18} = \mathbf{0·743\ mol\ kg^{-1}}$

(5) 1000g জলে 68·4 g সুক্রোজ দ্রবীভূত করে একটি দ্রবণ প্রস্তুত করা হল। সুক্রোজের আণবিক ভর = 342। 293K উষ্ণতায় দ্রবণটির বাষ্পচাপ নির্ণয় করো। 293 K উষ্ণতায় জলের বাষ্পচাপ 0·023 atm।

Ans. জলের বাষ্পচাপ $P_A^O = 0·023$ atm, $W_A = 1000$ g, $W_B = 68·4$ g

A-এর আণবিক ভর $M_A = 18$, সুক্রোজের আণবিক ভর $M_B = 342$

আমরা জানি $\frac{P_A^O - P_A}{P_A^O} = \frac{W_B M_A}{W_A M_B}$ বা, $\frac{0·023 - P_A}{0·023} = \frac{68·4 \times 18}{1000 \times 342}$

বা, $0·023 - P_A = \frac{68·4 \times 18 \times 0·023}{1000 \times 342} = 8·28 \times 10^{-5}$ বা, $P_A = 0·023 - 0·0000828$

বা, $P_A = 0·0229$ atm

(6) 90 g জলের সঙ্গে 30 g অনুদ্বায়ী দ্রাব যোগ করে যে দ্রবণ প্রস্তুত করা হল, 25°C উষ্ণতায় সেই দ্রবণের বাষ্পচাপ 21·85 mm Hg হয়। এরপর দ্রবণটির সঙ্গে আরও অতিরিক্ত 18 g জল যোগ করা হল। 25°C উষ্ণতায় এই প্রাপ্ত দ্রবণটির বাষ্পচাপ 22·15mm Hg হয়। (i) দ্রাবটির আণবিক ভর এবং (ii) 25°C উষ্ণতায় জলের বাষ্পচাপ নির্ণয় করো।

Ans. আমরা জানি $\frac{P_A^0 - P_A}{P_A^0} = \frac{W_B \times M_A}{W_A \times M_B}$ এখানে প্রথম দ্রবণে P_A^o = ?, দ্রবণের বাষ্পচাপ $P_A = 21.85$ mmHg, $M_A = 18$, $W_A = 90$ g, $W_B = 30$ g, M_B = ?

মানগুলি বসিয়ে পাই, $\frac{P_A^0 - 21.85}{P_A^0} = \frac{30 \times 18}{90 \times M_B}$ বা, $\frac{P_A^0 - 21.85}{P_A^0} = \frac{6}{M_B}$ ... ... (1)

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে $\frac{P_0^A - 22.15}{P_A^0} = \frac{30 \times 18}{108 \times M_B} = \frac{5}{M_B}$ বা, $\frac{P_A^0 - 22.15}{P_A^0} = \frac{5}{M_B}$ ... ... (2)

(1) এবং (2) দ্বারা ভাগ করে, $\frac{P_A^0 - 21.85}{P_A^0 - 22.15} = \frac{6}{5}$ বা, $P_A^o = 23.65$ mm,

এই, মান (1) নং সমীকরণে বসিয়ে $\frac{23.65 - 21.85}{23.65} = \frac{6}{M_B}$ বা, $M_B = \frac{6 \times 23.65}{1.8} = 78.84$

4.5. অভিস্রাবণ এবং অভিস্রাবীয় চাপ [Osmosis and Osmotic Pressure]

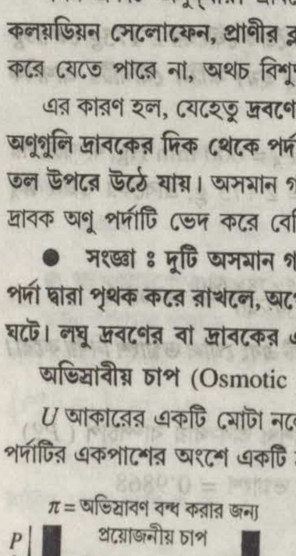
যখন একটি অনুদ্বায়ী দ্রাবকের দ্রবণকে বিশুদ্ধ দ্রাবক থেকে একটি **আংশিক প্রবেশ্য পর্দা** (যেমন, পার্চমেন্ট কাগজ, কলয়ডিয়ন সেলোফেন, প্রাণীর ব্লাডার প্রভৃতি) দ্বারা পৃথক করে রাখা হয়, তখন দেখা যায় যে, দ্রাবের অণুগুলি ওই পর্দা ভেদ করে যেতে পারে না, অথচ বিশুদ্ধ দ্রাবকের অণুগুলি ওই পর্দার ছিদ্রের মধ্য দিয়ে অবাধে চলে যেতে পারে।

এর কারণ হল, যেহেতু দ্রবণের অংশের দিকে বাষ্পচাপ, বিশুদ্ধ দ্রাবকের বাষ্পচাপের চেয়ে কম হয়, তাই বিশুদ্ধ দ্রাবকের অণুগুলি দ্রাবকের দিক থেকে পর্দার ছিদ্রের মধ্য দিয়ে দ্রবণের অংশের মধ্যে ঢুকতে থাকে, ফলে দ্রবণের অংশের দিকের তরল তল উপরে উঠে যায়। অসমান গাঢ়ত্বের দুটি দ্রবণকে আংশিক প্রবেশ্য পর্দা দ্বারা পৃথক করা হলেও কম গাঢ়ত্বের দ্রবণ থেকে দ্রাবক অণু পর্দাটি ভেদ করে বেশি গাঢ়ত্বের দ্রবণের মধ্যে প্রবেশ করে দ্রবণটিকে লঘু করার চেষ্টা করে।

● **সংজ্ঞা ঃ দুটি অসমান গাঢ়ত্বের দ্রবণকে অথবা দ্রাবক এবং ওই দ্রাবক দ্বারা গঠিত দ্রবণকে একটি আংশিক প্রবেশ্য পর্দা দ্বারা পৃথক করে রাখলে, অপেক্ষাকৃত লঘু দ্রবণ থেকে বেশি গাঢ়ত্বের দ্রবণে অথবা দ্রাবক থেকে দ্রবণে দ্রাবকের অনুপ্রবেশ ঘটে। লঘু দ্রবণের বা দ্রাবকের এই রকম স্বতঃস্ফূর্ত প্রবাহকে অভিস্রাবণ বলা হয়।**

অভিস্রাবীয় চাপ (Osmotic pressure) ঃ নীচের পরীক্ষাটির সাহায্যে অভিস্রাবীয় চাপ সম্বন্ধে ধারণা করা যায়।

U আকারের একটি মোটা নলের মাঝখানে একটি আংশিক প্রবেশ্য পর্দা (M) রেখে U নলটিকে দুটি অংশে ভাগ করা হল। পর্দাটির একপাশের অংশে একটি দ্রবণ এবং অপর পাশে রাখা থাকে বিশুদ্ধ দ্রাবক থাকে। নলটির দুটি বাহুতেই দুটি জল নিরুদ্ধ ও ঘর্ষণমুক্ত সমান ভরের পিস্টন রাখা থাকে। এই অবস্থায়, দ্রাবকটির দ্রবণের মধ্যে স্বতঃস্ফূর্তভাবে অনুপ্রবেশ করার প্রবণতার জন্য সিস্টেমটি সাম্যাবস্থায় থাকতে পারে না—দ্রবণের দিকের পিস্টনটি উপরের দিকে উঠে যেতে থাকে। এখন দ্রবণের সঙ্গে যুক্ত পিস্টনটির উপর বাইরে থেকে উপযুক্ত পরিমাণ চাপ P প্রয়োগ করে দ্রবণের মধ্যে দ্রাবকের অনুপ্রবেশ করার প্রবণতাকে বন্ধ করা যায়। দ্রবণের উপর প্রযুক্ত এই অতিরিক্ত চাপ Pকে দ্রবণটির অভিস্রাবীয় চাপ বলা হয়।



চিত্র 4.3 ঃ অভিস্রাবণ

● **অভিস্রাবীয় চাপ** (π) ঃ **কোনো দ্রবণকে আংশিক প্রবেশ্য পর্দা দ্বারা বিশুদ্ধ দ্রাবক থেকে পৃথক করে রাখলে, দ্রবণটির মধ্যে দ্রাবকের স্বতঃস্ফূর্ত অনুপ্রবেশ বন্ধ করে সিস্টেমটিকে সাম্যাবস্থায় রাখার জন্য দ্রবণটির উপর যে অতিরিক্ত চাপ প্রয়োগ করার দরকার হয়, তাকেই দ্রবণটির অভিস্রাবীয় চাপ বলা হয়।**

বিজ্ঞানী ভ্যান্ট হফ্ অনেক গবেষণার পর সিদ্ধান্ত করেন যে, লঘু দ্রবণ বা আদর্শ দ্রবণ, আদর্শ গ্যাসের মতো ব্যবহার করে, সুতরাং বিভিন্ন গ্যাসসূত্রগুলি লঘু দ্রবণের ক্ষেত্রেও প্রযোজ্য। তিনি বলেন, লঘু দ্রবণের ক্ষেত্রে অভিস্রাবীয় চাপকে (π) নীচের সম্পর্ক দ্বারা প্রকাশ করা যায়, **অভিস্রাবীয় চাপ** $(\pi) = CRT$

যেখানে, C = লঘু দ্রবণের মোলার গাঢ়ত্ব, R = গ্যাস ধ্রুবক, T = পরম উষ্ণতা।

এখন স্থির উষ্ণতায় T ধ্রুবক, R = গ্যাস ধ্রুবক, সুতরাং বলা যায়, স্থির উষ্ণতায় **অভিস্রাবীয় চাপ** π**, দ্রবণের মোলার গাঢ়ত্ব** C**-এর সমানুপাতিক**। অর্থাৎ $\pi \propto C$, সুতরাং অভিস্রাবীয় চাপ একটি **সমাবর্তী ধর্ম**।

● অভিস্রাবীয় চাপ থেকে দ্রাবের আণবিক ভর নির্ণয় ঃ

ভ্যান্ট হফের সমীকরণ অনুযায়ী $\pi = CRT$, কিন্তু মোলার গাঢ়ত্ব $C = \frac{n\text{ (দ্রাবের মোল সংখ্যা)}}{V\text{ (লিটারে দ্রবণের আয়তন)}} = \frac{n}{V}$

$$\therefore \text{ অভিস্রাবীয় চাপ } \pi = \frac{n}{V} RT \quad \dots \quad \dots \quad (4.6)$$

এখন দ্রাবের আণবিক ভর = M এবং দ্রাবের ভর W হলে, দ্রবণের মোলার গাঢ়ত্ব $n = \frac{W}{M}$ হবে।

এই মান (4.6) নং সমীকরণে বসিয়ে পাই, $\pi = \frac{WRT}{MV}$ বা, $\boxed{M = \frac{WRT}{\pi V}}$ ... ... (4.7)

● আইসোটোনিক, হাইপোটোনিক এবং হাইপারটোনিক দ্রবণ ঃ

বিভিন্ন গাঢ়ত্বের দ্রবণের বাষ্পচাপ বিভিন্ন হয়। সুতরাং দ্রবণগুলির অভিস্রাবীয় চাপও বিভিন্ন হবে। এই জাতীয় দুটি দ্রবণকে একটি আংশিক-প্রবেশ্য পর্দা দ্বারা পৃথক করে রাখলে, অপেক্ষাকৃত কম অভিস্রাবীয় চাপ বিশিষ্ট দ্রবণের দ্রাবক অণুগুলি আংশিক প্রবেশ্য পর্দার মধ্য দিয়ে বেশি অভিস্রাবীয় চাপ বিশিষ্ট দ্রবণে প্রবেশ করতে থাকবে। যতক্ষণ পর্যন্ত উভয় দ্রবণের অভিস্রাবীয় চাপ সমান না হচ্ছে, ততক্ষণ পর্যন্ত এই প্রক্রিয়া চলতে থাকে—শেষে দু পাশের দুটি দ্রবণের অভিস্রাবীয় চাপ সমান হয়ে গেলে অভিস্রাবণ বন্ধ হয়ে যায়। এই অবস্থায় দুটি দ্রবণের অভিস্রাবীয় চাপ সমান হলে, দ্রবণ দুটিকে **আইসোটোনিক দ্রবণ** বলে। **একই উষ্ণতায়, দুটি দ্রবণের মোলার গাঢ়ত্ব সমান হলে দ্রবণ দুটি আইসোটোনিক হয়।**

হাইপারটোনিক দ্রবণ—কোনো দ্রবণের অভিস্রাবীয় চাপ অপর কোনো দ্রবণের অভিস্রাবীয় চাপের চেয়ে বেশি হলে, প্রথম দ্রবণটিকে দ্বিতীয়টির সাপেক্ষে হাইপারটোনিক দ্রবণ বলে।

হাইপোটোনিক দ্রবণ—কোনো দ্রবণের অভিস্রাবীয় চাপ অপর কোনো দ্রবণের অভিস্রাবীয় চাপের চেয়ে কম হলে, প্রথম দ্রবণটিকে দ্বিতীয় দ্রবণের সাপেক্ষে হাইপোটোনিক দ্রবণ বলে।

● গাণিতিক উদাহরণ (Numerical Example) ঃ

(1) 300 K উষ্ণতায় 1·71 g সুক্রোজ (আণবিক ভর = 342) একটি দ্রবণের 500 ml-এ দ্রবীভূত আছে। দ্রবণটির অভিস্রাবীয় চাপ কত হবে? $R = 0{\cdot}082$ L atm K^{-1} mol^{-1}.

Ans. এখানে উষ্ণতা T = 300 K, দ্রাবের আণবিক ভর M = 342, দ্রাবের ওজন W = 1·71 g, দ্রবণের আয়তন V = 500 ml = $\frac{500}{1000}$ L, অভিস্রাবীয় চাপ π = ? মানগুলি নীচের সমীকরণে বসিয়ে,

$\pi = \frac{WRT}{MV} = \frac{1{\cdot}71 \times 0{\cdot}082 \times 300 \times 10}{5 \times 342} = 0{\cdot}246$ atm সুতরাং অভিস্রাবীয় চাপ = **0·246 atm**

(2) 298 K তাপমাত্রায়, একটি অজ্ঞাত দ্রাবের 3·02 g, 100 সেমি^{3} দ্রবণে দ্রবীভূত থাকায় 2·55 atm অভিস্রাবীয় চাপ দেখায়। দ্রাবটির আণবিক ভর কত? $R = 0{\cdot}0821$ L atm K^{-1} mol^{-1}

Ans. এখানে T = 298 K, দ্রাবের ওজন W = 3·02 g, দ্রবণের আয়তন V = 100 সেমি^{3} = $\frac{100}{1000}$ L = 0·1 L

দ্রাবের আণবিক ভর M = ? অভিস্রাবীয় চাপ π = 2·55 atm.

মানগুলি নীচের সমীকরণে বসিয়ে, $\pi = \frac{WRT}{MV}$ বা, $2{\cdot}55 = \frac{3{\cdot}02 \times 0{\cdot}0821 \times 298}{M \times 0{\cdot}1}$

বা, $M = \frac{3{\cdot}02 \times 0{\cdot}0821 \times 298}{0{\cdot}1 \times 2{\cdot}55} = 289{\cdot}7$ অর্থাৎ, দ্রাবের আণবিক ভর = **289·7**

(3) একটি দ্রবণের মধ্যে A যৌগের পরিমাণ 8%। এই দ্রবণটি, অপর একটি দ্রবণের আইসোটোনিক যার 1 লিটারে 16 গ্রাম ইউরিয়া আছে। A-এর আণবিক ভর নির্ণয় করো।

Ans. দুটি দ্রবণ আইসোটোনিক, সুতরাং A-এর π = ইউরিয়ার π

এখন 8% A দ্রবীভূত আছে অর্থাৎ 100 ml দ্রবণে 8 g A দ্রবীভূত থাকে। ধরি, A-এর আণবিক ভর = M

$\therefore$ A-এর মোল সংখ্যা $n = 8/M$, আয়তন V = 100 ml = 0·1 L

সুতরাং A-এর $\pi = \frac{n\ RT}{V} = \frac{8 \times RT}{M \times 0{\cdot}1}$

ইউরিয়া দ্রবণের ক্ষেত্রে ইউরিয়ার আণবিক ভর $M = 60$, ইউরিয়ার মোল সংখ্যা $n = \frac{16}{60}$, আয়তন $V = 1L$

$\therefore$ ইউরিয়ার $\pi = \frac{nRT}{V} = \frac{16\ RT}{60 \times 1} = \frac{4\ RT}{15}$

যেহেতু দ্রবণ দুটি আইসোটোনিক, সুতরাং $\frac{8 \times RT}{M \times 0^{\cdot}1} = \frac{4RT}{15}$ বা, $M = \frac{8 \times 15}{4 \times 0^{\cdot}1} = 300$, A-এর আণবিক ভর = **300.**

(4) 27°C উষ্ণতায় রক্তের অভিস্রাবীয় চাপ = 8˙2 atm. ইন্টারভেনাস ইন্‌জেকশন দেওয়ার জন্য প্রতি লিটারে কী পরিমাণ গ্লুকোজ দিলে দ্রবণটি রক্তের আইসোটোনিক হবে?

Ans. দেওয়া আছে, রক্তের অভিস্রাবীয় চাপ = গ্লুকোজ দ্রবণের অভিস্রাবীয় চাপ

অর্থাৎ π (রক্ত) = π (গ্লুকোজ দ্রবণ) = 8˙2 atm, এখানে $V = 1$ L, $T = 273 + 27 = 300$ K

আমরা জানি $\pi = \frac{nRT}{V}$ মানগুলি বসিয়ে পাই, $8^{\cdot}2 = \frac{n \times 0^{\cdot}082 \times 300}{1}$

বা, $n = \frac{8^{\cdot}2}{0^{\cdot}082 \times 300} = \frac{82 \times 1000}{82 \times 10 \times 300}$ বা, $n = 1/3$ মোল

$\therefore$ প্রতি লিটারে গ্লুকোজের পরিমাণ $= \frac{1}{3} \times 180$ (গ্লুকোজের আণবিক ভর = 180) = 60 g.

(5) 290 K উষ্ণতায়, 3% ইউরিয়ার দ্রবণের 100 ml এর সঙ্গে 1˙5% সুক্রোজের দ্রবণের 100 ml মেশালে মিশ্র দ্রবণের অভিস্রাবীয় চাপ কত হবে? ইউরিয়া ও সুক্রোজের আণবিক ভর যথাক্রমে 60 এবং 342।

Ans. দ্রবণ দুটিকে মেশাবার ফলে মিশ্রিত দ্রবণের মোট আয়তন = (100 + 100) ml = 200 ml হবে।

ইউরিয়ার অভিস্রাবীয় চাপ ঃ এখানে, ইউরিয়ার ভর $W = 3$ g, $M = 60$, $V = 200$ ml $= 0^{\cdot}2$ L

$T = 290$ K, $R = 0^{\cdot}082$ L atm mol^{-1} K^{-1}

মানগুলি সমীকরণে বসিয়ে, $\pi = \frac{WRT}{MV} = \frac{3 \times 0^{\cdot}082 \times 290}{60 \times 0^{\cdot}2}$ বা, $\pi = \mathbf{5^{\cdot}94\ atm}$

সুক্রোজের অভিস্রাবীয় চাপ ঃ এক্ষেত্রে $V = 200$ ml $= 0^{\cdot}2$ L, সুক্রোজের ভর $W = 1^{\cdot}5$ g

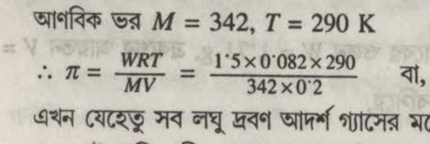
আণবিক ভর $M = 342$, $T = 290$ K

$\therefore \pi = \frac{WRT}{MV} = \frac{1^{\cdot}5 \times 0^{\cdot}082 \times 290}{342 \times 0^{\cdot}2}$ বা, $\pi = \mathbf{0^{\cdot}52\ atm}$

এখন যেহেতু সব লঘু দ্রবণ আদর্শ গ্যাসের মতো ব্যবহার করে, সুতরাং ডালটনের আংশিক চাপ সূত্রানুযায়ী এক্ষেত্রে মিশ্র দ্রবণের মোট অভিস্রাবীয় চাপ = দ্রবণ দুটির আংশিক অভিস্রাবীয় চাপের যোগফল = (5˙94 + 0˙52) atm = **6˙46 atm**

4.6. দ্রবণের স্ফুটনাঙ্কের উন্নয়ন [Elevation of Boiling Points of solutions]

যখন কোনো তরলে তাপ প্রয়োগ করা হয় তখন তরলটির বাষ্পচাপ ক্রমে বাড়তে থাকে—এক সময় যখন তরলটির বাষ্পচাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান হয় তখন তরলটি ফুটতে থাকে। সুতরাং কোনো তরলের স্ফুটনাঙ্ক হল সেই উষ্ণতা, যে উষ্ণতায় তরলটির বাষ্পচাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান হয়। এখন যেহেতু দ্রাবকের মধ্যে কোনো দ্রাবের দ্রবীভূত হওয়ার মাত্রা অনুযায়ী দ্রাবের উপস্থিতিতে দ্রাবকের বাষ্পচাপ কমে যায়, তাই দ্রবণের বাষ্পচাপ সর্বদাই বিশুদ্ধ দ্রাবকের বাষ্পচাপের চেয়ে কম হয়। এর ফলে দ্রবণটির বাষ্পচাপ বায়ুমণ্ডলের বাষ্পচাপের সমান করার জন্য দ্রবণটিকে আরও বেশি উষ্ণতায় উত্তপ্ত করতে হয়। যার জন্য বিশুদ্ধ দ্রাবকের চেয়ে দ্রবণের স্ফুটনাঙ্ক বৃদ্ধি পায়।



চিত্র 4.4 ঃ দ্রবণের স্ফুটনাঙ্ক বৃদ্ধির লেখচিত্র

যদি বিশুদ্ধ দ্রাবকের স্ফুটনাঙ্ক = T_b° এবং দ্রবণের স্ফুটনাঙ্ক T_b হলে, এই দুই স্ফুটনাঙ্কের পার্থক্য $(T_b - T_b^{\circ}) = \Delta T_b$-হয়, তাহলে এই ΔT_b-কে দ্রবণের স্ফুটনাঙ্কের উন্নয়ন বলে। স্ফুটনাঙ্কের এই বৃদ্ধি বাষ্পচাপের হ্রাসের সমানুপাতিক হয় অর্থাৎ $\Delta T_b \propto (P_A^o - P_A)$ যেখানে P_A^o = বিশুদ্ধ দ্রাবকের বাষ্পচাপ এবং P_A = দ্রবণের বাষ্পচাপ।

একটি দ্রাবকের সঙ্গে অনুদ্বায়ী কোনো দ্রাব যোগ করলে দ্রবণের স্ফুটনাঙ্কের যে উন্নয়ন হয়, একটি লেখচিত্রের সাহায্যে সেই ঘটনাটিকে পরিষ্কার ভাবে দেখানো যায়। একটি দ্রাবক অথবা দ্রবণের বাষ্পচাপ, উষ্ণতা বৃদ্ধির সাথে সাথে বাড়তে থাকে। 4.4 লেখচিত্রে, বিভিন্ন উষ্ণতায় বিশুদ্ধ দ্রাবক এবং দ্রবণের বাষ্পচাপের পরিবর্তন দেখানো হয়েছে। *AB* লেখটি বিশুদ্ধ দ্রাবকের বাষ্পচাপ প্রকাশ করে এবং *CD* লেখটি দ্রবণের বাষ্পচাপ প্রকাশ করে। *CD* লেখটি, যা বিভিন্ন উষ্ণতায় দ্রবণের বাষ্পচাপ দেখায়, বিশুদ্ধ দ্রাবকের বাষ্পচাপের লেখ *AB*-এর নীচে অবস্থান করে। এর কারণ হল, **দ্রবণের বাষ্পচাপ, বিশুদ্ধ দ্রাবকের বাষ্পচাপের চেয়ে কম হয়।** লেখচিত্রে দেখা যায় যে, বিশুদ্ধ দ্রাবকের বাষ্পচাপ, *X*-বিন্দুতে 1 atm চাপের সমান হয় $T_b°$ উষ্ণতায়। আরও দেখা যায় যে দ্রবণের বাষ্পচাপ, *Y* বিন্দুতে এক atm চাপের সমান হয় T_b উষ্ণতায়। দেখা গেল বিশুদ্ধ দ্রাবকের স্ফুটনাঙ্ক = $T_b°$ এবং দ্রবণের স্ফুটনাঙ্ক = T_b হয়। এখন যেহেতু বিশুদ্ধ দ্রাবকের স্ফুটনাঙ্ক $T_b°$-এর চেয়ে দ্রবণের স্ফুটনাঙ্ক T_b বেশি হয়, সুতরাং দ্রবণের স্ফুটনাঙ্কের উন্নয়ন = $\Delta T_b = T_b - T_b°$

পরীক্ষার দ্বারা প্রমাণিত হয়েছে যে, **কোনো দ্রবণের স্ফুটনাঙ্কের উন্নয়ন (ΔT_b), দ্রবণের মোলাল গাঢ়ত্বের সমানুপাতিক হয়।**

অর্থাৎ $\Delta T_b \propto$ মোলাল গাঢ়ত্ব (m) বা, $\boxed{\Delta T_b = K_b m}$ ... ... (4·8)

যেখানে m = দ্রবণের মোলালিটি অর্থাৎ 1 kg বা 1000 g দ্রাবকের মধ্যে উপস্থিত দ্রাবের মোল সংখ্যা বোঝায়, K_b = **দ্রাবকের স্ফুটনাঙ্কের মোলাল বৃদ্ধি বা আণবিক স্ফুটনাঙ্ক ধ্রুবক** (Molal elevation constant or ebullioscopic constant), ΔT_b = স্ফুটনাঙ্ক বৃদ্ধি।

এখন $m = 1$ মোলাল হলে, $\Delta T_b = K_b$ হয়।

সংজ্ঞা ঃ আণবিক স্ফুটনাঙ্ক ধ্রুবক ঃ এক মোলাল দ্রবণের (যার 1000 g দ্রাবকে 1 গ্রাম মোল দ্রাব দ্রবীভূত আছে) স্ফুটনাঙ্কের যে উন্নয়ন ঘটে তাকেই আণবিক স্ফুটনাঙ্ক ধ্রুবক বলা হয়।

যেহেতু $\Delta T_b \propto m$ অর্থাৎ দ্রবণের স্ফুটনাঙ্ক বৃদ্ধি দ্রাবের **মোলাল গাঢ়ত্বের অর্থাৎ অণুর সংখ্যার সমানুপাতিক, তাই এটি একটি সমাবর্তী ধর্ম।**

● দ্রবণের স্ফুটনাঙ্কের উন্নয়নের সাথে দ্রাবক ও দ্রাবের আণবিক গুরুত্বের সম্পর্ক ঃ

একটি অনুদ্বায়ী দ্রাবের আণবিক গুরুত্ব নির্ণয় করতে হলে, জানা ওজনের দ্রাব নিয়ে জানা ওজনের কোনো উপযুক্ত দ্রাবকের মধ্যে দ্রবীভূত করে দ্রবণটির স্ফুটনাঙ্কের উন্নয়ন নির্ণয় করা হয়।

ধরি, *W* g দ্রাবকের মধ্যে *w* g অনুদ্বায়ী দ্রাব দ্রবীভূত করা হল। দ্রাবটির আণবিক গুরুত্ব = *M* হলে,

দ্রবণটির মোলালিটি $m = \dfrac{\text{দ্রাবের মোল সংখ্যা} \times 1000}{\text{দ্রাবকের গ্রামে প্রকাশিত ওজন}}$ যেখানে, দ্রাবের মোল সংখ্যা = w/M

$$\therefore m = \frac{w \times 1000}{M \times W}$$

m-এর এই মানটিকে, $\Delta T_b = K_b\, m$ সমীকরণে বসিয়ে, $\Delta T_b = \dfrac{K_b \times w \times 1000}{M \times W}$

সুতরাং দ্রাবের আণবিক গুরুত্ব $\boxed{M = \dfrac{K_b \times w \times 1000}{\Delta T_b \times W}}$ ... ... (4·9)

● গাণিতিক উদাহরণ (Numerical examples) ঃ

(1) বেঞ্জিনের মোলাল স্ফুটনাঙ্ক বৃদ্ধি 2·52 K/m. বেঞ্জিনে দ্রবীভূত একটি অজ্ঞাত জৈবযৌগের দ্রবণ, বেঞ্জিনের স্ফুটনাঙ্কের চেয়ে 0·126°C বেশি উষ্ণতায় ফুটে। দ্রবণটির মোলালিটি নির্ণয় করো।

Ans. $\Delta T_b = K_b\, m$, এখানে $\Delta T_b = 0{\cdot}126°C$, $K_b = 2{\cdot}52$ K/*m*

মানগুলি বসিয়ে $0{\cdot}126 = 2{\cdot}52 \times m$ বা, $m = 0{\cdot}126/2{\cdot}52 = 0{\cdot}05$

সুতরাং দ্রবণটির মোলালিটি = **0·05**

(2) বিশুদ্ধ জলের স্ফুটনাঙ্ক 100°C. এখন 50 g জলে 0·3 g ইউরিয়ার জলীয় দ্রবণের স্ফুটনাঙ্ক নির্ণয় করো। ইউরিয়ার আণবিক ভর 60, জলের $K_b = 0{\cdot}52$ K/m.

Ans. আমরা জানি, $\Delta T_b = \dfrac{K_b \times w \times 1000}{M \times W}$ বা, $\Delta T_b = \dfrac{0{\cdot}52 \times 0{\cdot}3 \times 1000}{60 \times 50} = 0{\cdot}052°C$

$\therefore$ দ্রবণের স্ফুটনাঙ্ক = 100 + 0·052 = **100·052°C.**

(3) 1·065 g আয়োডিন 30·14 g ইথারে দ্রবীভূত করলে দ্রবণের স্ফুটনাঙ্ক 0·296°C বৃদ্ধি পায়। ইথারের আণবিক স্ফুটনাঙ্ক ধ্রুবক (K_b) 2·11°C/m হলে আয়োডিনের আণবিক ভর নির্ণয় করো।

Ans. এখানে $\Delta T_b = 0·296°C$, $w = 1·065$ g, $W = 30·14$ g, $K_b = 2·11°C/m$.

মানগুলি সমীকরণে বসিয়ে $\Delta T_b = \frac{w \times 1000 \times K_b}{W \times M}$ বা, $M = \frac{w \times 1000 \times K_b}{\Delta T_b \times W}$

বা, $M = \frac{1·065 \times 1000 \times 2·11}{0·296 \times 30·14} = \mathbf{251·9.}$

(4) একটি দ্রাবকের স্ফুটনাঙ্ক 80·2°C. এখন 75 g এই দ্রাবকের সঙ্গে 0·419 g একটি দ্রাব দ্রবীভূত করায় দ্রবণটির স্ফুটনাঙ্ক 80·256°C হল। দ্রাবটির আণবিক ভর 252·4. স্ফুটনাঙ্কের মোলাল বৃদ্ধি K_b নির্ণয় করো।

Ans. $\Delta T_b = K_b\, m$. এখানে $\Delta T_b = (80·256 - 80·2) = 0·056°C$, দ্রাবের মোল সংখ্যা $= \frac{0·419}{252·4}$

75 g দ্রাবকে দ্রাবের মোল সংখ্যা $= \frac{0·419}{252·4}$

1000 g ,, ,, ,, $= \frac{0·419 \times 1000}{252·4 \times 75} = 0·022$

অর্থাৎ মোলালিটি $m = 0·022$, মানগুলিকে $\Delta T_b = K_b \times m$ সমীকরণে বসিয়ে

$0·056 = K_b \times 0·022$ বা, $K_b = \frac{0·056}{0·022}$ বা, $K_b = \mathbf{2·545°C/m}$

(5) জলের স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্ক 100°C, এখন 20 ml জলে 3 g একটি অনুদ্বায়ী দ্রাব দ্রবীভূত করলে দ্রবণের স্ফুটনাঙ্ক 100·52°C হয়। জলের স্ফুটনাঙ্কের মোলাল বৃদ্ধি $K_b = 0·52$ K/m হলে দ্রাবের আণবিক ভর নির্ণয় করো।

Ans. এখানে স্ফুটনাঙ্ক বৃদ্ধি $\Delta T_b = (100·52 - 100)°C = 0·52°C$, $K_b = 0·52$ K/m, $w = 3$ g, $W = 20$ g,

মানগুলি সমীকরণে বসিয়ে, $\Delta T_b = \frac{K_b \times w \times 1000}{W \times M}$ বা, $0·52 = \frac{0·52 \times 3 \times 1000}{M \times 20}$

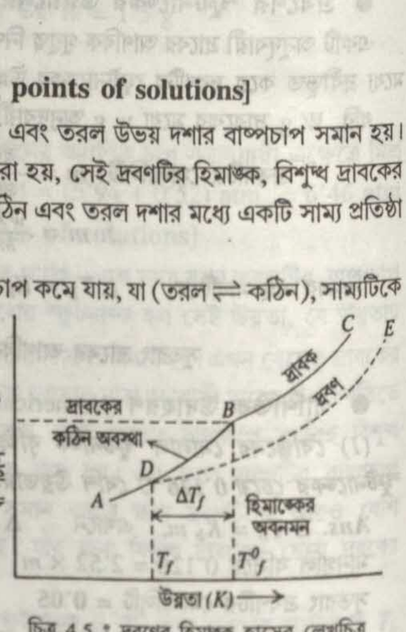
বা, $M = \frac{0·52 \times 3 \times 1000}{20 \times 0·52} = 150$, দ্রাবের **আণবিক ভর = 150.**

4.7. দ্রবণের হিমাঙ্কের অবনমন [Depression of freezing points of solutions]

কোনো তরলের হিমাঙ্ক হল সেই উষ্ণতা, যে উষ্ণতায় কোনো গ্যাসের কঠিন এবং তরল উভয় দশার বাষ্পচাপ সমান হয়। দেখা যায়, যখন কোনো অনুদ্বায়ী দ্রাব, কোনো দ্রাবকে যোগ করে দ্রবণ প্রস্তুত করা হয়, সেই দ্রবণটির হিমাঙ্ক, বিশুদ্ধ দ্রাবকের হিমাঙ্কের চেয়েও কম হয়। এর কারণ হল, একটি দ্রাবকের হিমাঙ্কে দ্রাবকটির কঠিন এবং তরল দশার মধ্যে একটি সাম্য প্রতিষ্ঠা হয়।

দ্রাবক (তরল) $\rightleftharpoons$ দ্রাবক (কঠিন)

এখন দ্রাবকের মধ্যে কোনো অনুদ্বায়ী কঠিন দ্রাব যোগ করলে, দ্রাবকের বাষ্পচাপ কমে যায়, যা (তরল $\rightleftharpoons$ কঠিন), সাম্যটিকে বাধা দেয়। এই অবস্থায় দ্রাবকটির হিমাঙ্কে, দ্রাবকের আরও কিছু অণু কঠিন অবস্থা থেকে তরল অবস্থায় চলে যায়। অর্থাৎ দ্রাবকের মধ্যে যখন কোনো কঠিন দ্রাব যোগ করা হয়, তখন কঠিন দ্রাবকের কিছু অংশ তরলে পরিণত হয়। কঠিনের তরলে পরিণত হওয়ার ঘটনাকে রোধ করার জন্য, বিশুদ্ধ দ্রাবকের হিমাঙ্কের চেয়ে, দ্রবণের উষ্ণতাকে আরও কিছুটা কমাতে হয়। এই কম উষ্ণতায় দ্রবণের কঠিনীভবন হতে থাকে এবং নতুন সাম্য প্রতিষ্ঠিত হয়।



চিত্র 4.5 : দ্রবণের হিমাঙ্ক হ্রাসের লেখচিত্র

ঘটনাটিকে লেখচিত্রের সাহায্যে দেখানো হল—লেখচিত্রে BC রেখাটি বিশুদ্ধ দ্রাবকের বাষ্পচাপ দেখায়। যেহেতু বিশুদ্ধ দ্রাবকের মধ্যে অনুদ্বায়ী দ্রাবের উপস্থিতিতে বাষ্পচাপ কমে যায়, DE রেখাটি বিভিন্ন উষ্ণতায় দ্রবণের বাষ্পচাপ প্রকাশ করে। AB রেখাটি দ্রাবকের কঠিন অবস্থায় বিভিন্ন উষ্ণতায় বাষ্পচাপ দেখায়। B বিন্দুটি সেই উষ্ণতা প্রকাশ করে যে উষ্ণতায় দ্রাবকটির কঠিন এবং তরল উভয় অবস্থায় বাষ্পচাপ সমান হয় এবং বিশুদ্ধ দ্রাবকের হিমাঙ্ক T^0_f দেখায়। D বিন্দুটি সেই উষ্ণতা দেখায় যে উষ্ণতায় কঠিন দ্রাবক এবং তরল দ্রবণের বাষ্পচাপ সমান হয়—এই উষ্ণতাই হল দ্রবণের হিমাঙ্ক T_f.

এখন, যেহেতু T_f, T_f°-এর চেয়ে কম সুতরাং এর দ্বারা প্রকাশ পায় যে দ্রবণের হিমাঙ্ক বিশুদ্ধ দ্রাবকের হিমাঙ্কের চেয়ে কম হয়।

বিশুদ্ধ দ্রাবক এবং দ্রবণের মধ্যে হিমাঙ্কের অবনমন $\Delta T_f = (T_f^\circ - T_f)$

পরীক্ষা দ্বারা জানা গেছে যে, কোনো দ্রবণের হিমাঙ্কের অবনমন, দ্রবণটির মোলাল গাঢ়ত্বের সমানুপাতিক হয়।

অর্থাৎ দ্রবণের হিমাঙ্কের অবনমন = ΔT_f এবং মোলাল গাঢ়ত্ব = m হলে, $\Delta T_f \propto m$ বা, $\Delta T_f = K_f m$

যেখানে K_f হল দ্রাবকের হিমাঙ্কের **মোলাল অবনমন ধ্রুবক** (Molal cryoscopic constant। এখন $m = 1$ হলে, $\Delta T_f = K_f$ হয়, সুতরাং মোলাল অবনমন ধ্রুবকের সংজ্ঞা রূপে বলা যায়—

1000 g দ্রাবকের সঙ্গে 1 গ্রাম মোল দ্রাব যোগ করলে যে দ্রবণ প্রস্তুত হয়, তাকে 1 মোলাল দ্রবণ বলে এবং 1 মোলাল দ্রবণের হিমাঙ্কের অবনমনকে, মোলাল অবনমন ধ্রুবক (K_f) বলা হয়।

$\Delta T_f \propto m$, সুতরাং বলা যায় যে, দ্রবণের হিমাঙ্কের অবনমন, দ্রাবের মোলাল গাঢ়ত্বের (অর্থাৎ অণু সংখ্যার) সমানুপাতিক হয়। তাই হিমাঙ্কের অবনমন ΔT_f একটি সমাবর্তী ধর্ম।

● **দ্রবণের হিমাঙ্কের অবনমনের সাথে দ্রাবক ও দ্রাবের আণবিক গুরুত্বের সম্পর্ক ঃ**

একটি অনুদ্বায়ী দ্রাবের আণবিক গুরুত্ব নির্ণয় করতে হলে, জানা ওজনের দ্রাব নিয়ে, জানা ওজনের উপযুক্ত কোনো দ্রাবকে দ্রবীভূত করে দ্রবণ প্রস্তুত করা হয়। এরপর দ্রবণটির হিমাঙ্কের অবনমন পরীক্ষার সাহায্যে নির্ণয় করা হয়।

ধরি, W g দ্রাবকের মধ্যে w g অনুদ্বায়ী একটি দ্রাব, দ্রবীভূত করা হল। দ্রাবটির আণবিক গুরুত্ব M হলে দ্রবণটির মোলালিটি

$$m = \frac{\text{দ্রাবের মোল সংখ্যা} \times 1000}{\text{গ্রামে প্রকাশিত দ্রাবকের ওজন}}\text{; যেখানে দ্রাবের মোল সংখ্যা} = w/M$$

সুতরাং $m = \frac{w \times 1000}{M \times W}$, m-এর এই মান $\Delta T_f = K_f m$ সমীকরণে বসিয়ে পাই, $\Delta T_f = \frac{K_f \times w \times 1000}{M \times W}$

সুতরাং দ্রাবের আণবিক গুরুত্ব $$\boxed{M = \frac{K_f \times w \times 1000}{\Delta T_f \times W}} \quad \ldots \quad \ldots \quad (4{\cdot}10)$$

● **গানিতিক উদাহরণ** (Numerical examples) ঃ

(1) 50 ml বেঞ্জিনে (ঘনত্ব 0˙879 g/ml) 0˙643 g একটি যৌগ যোগ করায় হিমাঙ্কের অবনমন 5˙51°C থেকে 5˙03°C হয়। যদি বেঞ্জিনের $K_f = 5{\cdot}12$ K kg mol^{-1} হয়, তাহলে যৌগটির আণবিক ভর নির্ণয় করো।

Ans. এখানে দ্রাবের ওজন $w = 0{\cdot}643$ g, দ্রাবকের ওজন $W = (50 \text{ ml} \times 0{\cdot}879 \text{ g/ml}) = 43{\cdot}95$ g

$K_f = 5{\cdot}12$ K/m, $\Delta T_f = (5{\cdot}51 - 5{\cdot}03) = 0{\cdot}48$°C

মানগুলি সমীকরণে বসিয়ে, $M = \frac{K_f \times w \times 1000}{\Delta T_f \times W} = \frac{5{\cdot}12 \times 0{\cdot}643 \times 1000}{0{\cdot}48 \times 43{\cdot}95} = \mathbf{156{\cdot}06}$

যৌগটির আণবিক ভর = **156˙06**

(2) একটি দ্রবণের হিমাঙ্ক নির্ণয় করো যার মধ্যে 0˙45 g গ্লুকোজ ($C_6H_{12}O_6$) 50 g জলে দ্রবীভূত আছে। জলের K_f = 1˙86 K/m.

Ans. $\Delta T_f = \frac{K_f \times w \times 1000}{M \times W}$ এখানে $K_f = 1{\cdot}86$ K/m, $w = 0{\cdot}45$ g, $W = 50$ g, $M = 180$

মানগুলি উপরের সমীকরণে বসিয়ে $\Delta T_f = \frac{1{\cdot}86 \times 0{\cdot}45 \times 1000}{180 \times 50} = 0{\cdot}093$

জলের হিমাঙ্ক = 273 K, হিমাঙ্কের অবনমন = 0˙093 সুতরাং দ্রবণের হিমাঙ্ক = (273 − 0˙093) = 272˙907 K.

(3) শীতের দেশে জল জমে গিয়ে মোটরের রেডিয়েটার নষ্ট করে দেয়। তাই হিমাঙ্করোধী তরল রূপে ইথিলিন গ্লাইকল (62) ব্যবহার করা হয়। 4 Kg জলের সঙ্গে কী পরিমাণ ইথিলিন গ্লাইকল যোগ করলে – 6°C উষ্ণতাতেও জল জমে যাবে না। K_f জলের ক্ষেত্রে = 1˙85 K/m.

Ans. আমরা জানি, $\Delta T_f = \frac{K_f \times w \times 1000}{M \times W}$ বা, $w = \frac{\Delta T_f \times M \times W}{K_f \times 1000}$

দেওয়া আছে $K_f = 1{\cdot}85$ K/m, $\Delta T_f = 0 - (-6) = 6°C$, $W = 4$ kg $= 4 \times 1000$ g, $M = 62$, $w = ?$

মানগুলি সমীকরণে বসিয়ে পাই, ইথিলিন গ্লাইকলের ওজন $w = \frac{6 \times 62 \times 4 \times 1000}{1{\cdot}85 \times 1000} = 804{\cdot}32$ g

সুতরাং প্রয়োজনীয় ইথিলিন গ্লাইকলের পরিমাণ = **804·32 g**

(4) 25·6 g সালফার 1000 g ন্যাপথ্যালিনে দ্রবীভূত করা হল। এর ফলে হিমাঙ্কের অবনমন 0·68°C হয়। ন্যাপথলিনের গলনাঙ্ক 80·1°C এবং $K_f = 6{\cdot}8$ K kg mol^{-1} হলে সালফারের ফর্মুলা নির্ণয় করো।

Ans. $\Delta T_f = K_f m$. ধরি, *S*-এর আণবিক ভর = *M*, তাহলে দ্রবণের মোলালিটি $m = \frac{25{\cdot}6}{M}$

$\Delta T_f = 0{\cdot}68°C$, $K_f = 6{\cdot}8$ K kg mol^{-1} $\therefore \Delta T_f = K_f m$ সমীকরণে মানগুলি বসিয়ে

$0{\cdot}68 = 6{\cdot}8 \times \frac{25{\cdot}6}{M}$ বা, $M = \frac{6{\cdot}8 \times 25{\cdot}6}{0{\cdot}68} = 256$

S-এর পারমাণবিক ভর = 32 $\therefore$ পারমাণবিকতা = 256/32 = 8 সুতরাং *S*-এর ফর্মুলা = S_8

(5) 25 g বিশুদ্ধ জলের সঙ্গে 0·32 g একটি যৌগ যোগ করে যে দ্রবণ প্রস্তুত করা হল, সেই দ্রবণের হিমাঙ্ক = – 0·21°C. যৌগটির আণবিক ভার নির্ণয় করো। ($K_f = 1{\cdot}86°C$)

Ans. এখানে $K_f = 1{\cdot}86°C$, $W = 25$ g, $w = 0{\cdot}32$ g, $\Delta T_f = [0 - (-0{\cdot}21)] = 0{\cdot}21$

মানগুলিকে সমীকরণে বসিয়ে, $\Delta T_f = \frac{K_f \times w \times 1000}{M \times W}$ বা, $0{\cdot}21 = \frac{1{\cdot}86 \times 0{\cdot}32 \times 1000}{M \times 25}$

বা, $M = \frac{1{\cdot}86 \times 0{\cdot}32 \times 1000}{0{\cdot}21 \times 25} = 113{\cdot}37$

● [B] কলয়ডীয় অবস্থা ●
[Colloidal State]

1861 সালে স্কটিশ বিজ্ঞানী টমাস গ্রাহাম কতকগুলি কেলাসিত পদার্থ যেমন চিনি, ইউরিয়া, সাধারণ লবণ এবং কতকগুলি অনিয়তাকার পদার্থ, যেমন স্টার্চ, গাম, জিলেটিন ইত্যাদির ব্যাপন সংক্রান্ত পরীক্ষা করতে গিয়ে দেখেন কেলাসিত পদার্থগুলির জলীয় দ্রবণ পার্চমেন্ট কাগজ বা প্রাণীজ ঝিল্লির মধ্য দিয়ে দ্রুত ব্যাপিত হয়, অথচ স্টার্চ, জিলেটিন, গাম ইত্যাদির জলীয় মিশ্রণ থেকে ওই পদার্থগুলির ব্যাপনের প্রবণতা অনেক কম। যে কেলাসিত পদার্থগুলির জলীয় দ্রবণ সহজেই পার্চমেন্ট কাগজ বা প্রাণীজ ঝিল্লি অতিক্রম করে দ্রুত বেরিয়ে আসে, তিনি সেই জাতীয় পদার্থগুলির নাম দেন কৃস্টালয়েড এবং যে শ্রেণির পদার্থের জলীয় মিশ্রণ প্রাণীজ ঝিল্লি অতিক্রম করে বাইরে আসতে পারে না, তিনি তাঁদের নাম দেন **কলয়েড**।

কারণ হিসাবে গ্রাহাম বলেন যে, অনিয়তাকার পদার্থগুলির আণবিক ওজন খুব বেশি বলে অণুগুলির আকার অনেক বড়ো হওয়ার ফলে ওদের অভিস্রাবণ চাপ (Osmotic pressure) অপেক্ষাকৃত কম হওয়ার জন্য ওরা ব্যাপিত হতে পারেনি। তিনি মনে করেন যে কঠিন, তরল, গ্যাসের মতো কলয়েড হল পদার্থের অপর একটি অবস্থা অর্থাৎ চতুর্থ অবস্থা।

4.8. পদার্থের কলয়ডীয় অবস্থা [Colloidal State of matter]

বার্লি, সাগু, স্টার্চ প্রভৃতিকে জলে মেশালে জল অস্বচ্ছ হয়ে যায় অথচ মিশ্রণটিকে অনেকক্ষণ স্থির ভাবে রেখে দিলেও কণাগুলি থিতিয়ে পড়ে না। ওই পদার্থগুলি খুব ছোটো কণার আকারে জলের মধ্যে ইতস্তত ঘুরে বেড়ায় আর প্রলম্বিত অবস্থায় থাকে। এই জাতীয় কণাগুলির ব্যাস 10^{-5} cm থেকে 10^{-7} cm হয়। কণাগুলি এত ছোটো যে খালি চোখে বা সাধারণ মাইক্রোস্কোপের সাহায্যে ওদের দেখা যায় না, তবে আলট্রা-মাইক্রোস্কোপে কণাগুলির উপস্থিতি ধরা যায়।

বর্তমানে নানা পরীক্ষা-নিরীক্ষার পর প্রমাণিত হয়েছে যে কলয়েড অবস্থা ; পদার্থের চতুর্থ অবস্থা নয়—একই পদার্থ, অবস্থা বিশেষে নিজেকে কখনো কলয়েড রূপে আবার কখনো কৃস্টালয়েড রূপে প্রকাশ করতে পারে। যেমন সাধারণ লবণের কেলাস জলে দ্রবীভূত হয়ে স্বচ্ছ দ্রবণ অর্থাৎ প্রকৃত দ্রবণের সৃষ্টি করে। কিন্তু ওই সাধারণ লবণকে বেঞ্জিনে যোগ করলে কলয়েড অবস্থা পায়। কলয়ডীয় অবস্থার বিশেষ ধর্ম হল কণাগুলির আকার অতি ক্ষুদ্র হবে (ব্যাস 10^{-5}cm – 10^{-7}cm) **এবং কণাগুলির পৃষ্ঠতলের মিলিত ক্ষেত্রফল বহুগুণ বেশি হবে।** আপাতদৃষ্টিতে সমসত্ত্ব মনে হলেও **কলয়েড সিস্টেম হল একটি অসমসত্ত্ব দ্বিকল্প** (Double phase) **মিশ্রণ।**

● **যে মাধ্যমে কলয়েড কণাগুলি বিস্তৃত হয় তাকে বিস্তার মাধ্যম** (Dispersing medium) **বলা হয় এবং কণাগুলিকে** বলা হয় বিস্তৃত দশা (Dispersed phase)। **বিস্তৃত দশা কঠিন এবং বিস্তার মাধ্যম জল হলে উৎপন্ন কলয়েড সিস্টেমকে হাইড্রাসল** বলে। অ্যালকোহল বিস্তার মাধ্যম হলে বলা হয় অ্যালকাসল।

গ্যাসীয় বিস্তার মাধ্যমে তরল বিস্তৃত দশার মিশ্রণকে তরল এয়ারোসল (aerosol) **বলে,** যেমন—মেঘ, কুয়াশা।

তরল বিস্তার মাধ্যমে তরল বিস্তৃত দশার মিশ্রণকে ইমালশন (Emulsion) **বলে,** যেমন—দুধ।

বিস্তার মাধ্যম এবং বিস্তৃত দশাসহ কয়েকটি কলয়ডীয় সিস্টেমের উদাহরণ দেওয়া হল—

বিস্তৃত দশা	বিস্তার মাধ্যম	নাম	উদাহরণ
তরল	গ্যাস	এয়ারোসল	মেঘ, কুয়াশা, স্প্রে
গ্যাস	তরল	ফোম	সাবানের ফেনা
তরল	তরল	ইমালশন	দুধ
কঠিন	গ্যাস	কঠিন এয়ারোসল	ধোঁয়া, ধূলিমেঘ
কঠিন	তরল	সল	বার্লি, ডিমের সাদা অংশ, দই
কঠিন	কঠিন	কঠিন সল	রুবি গ্লাস, স্টিলের মধ্যে কার্বন
গ্যাস	কঠিন	কঠিন ফোম	প্লিউমিক স্টোন

বিস্তৃত দশা এবং বিস্তার মাধ্যম প্রসঙ্গে কলয়েডের সংজ্ঞারূপে বলা যায়—

কলয়েড সিস্টেম হল একটি দ্বি-কল্প অসমসত্ত্ব অবস্থা যেখানে একটি দশা ক্ষুদ্র কণিকায় বিভাজিত হয়ে আরেকটি মাধ্যমে বিস্তৃত থাকে। ক্ষুদ্র কণিকার ব্যাস 10^{-5} থেকে 10^{-7} cm এর মধ্যে থাকে।

● সংজ্ঞা ঃ কোনো দ্রাবকের মধ্যে কোনো অদ্রাব্য পদার্থের **10^{-5} থেকে 10^{-7} cm-এর মধ্যবর্তী ব্যাসবিশিষ্ট সূক্ষ্মকণা প্রলম্বিত অবস্থায় ছড়িয়ে থেকে ইতস্তত ঘুরে বেড়ায় অথচ দ্রবীভূত না হয়ে একটি অস্বচ্ছ এবং অসমসত্ত্ব মিশ্রণ উৎপন্ন করে, যে মিশ্রণ থেকে কণাগুলি ফিলটার কাগজের মধ্য দিয়ে সহজে বেরিয়ে যেতে পারে, কিন্তু পার্চমেন্ট কাগজের মধ্য দিয়ে বেরিয়ে যেতে পারে না, সেই অস্বচ্ছ অসমসত্ত্ব মিশ্রণকে কলয়েড বলে।**

4.9. প্রকৃত দ্রবণ [True Solution]

জলের মধ্যে চিনিকে দ্রবীভূত করলে চিনির কণা জলের মধ্যে বিভাজিত হয়ে ক্ষুদ্রতম অদৃশ্য কণায় পরিণত হয় এবং জলের অণুর ফাঁকে ফাঁকে সমসত্ত্বভাবে মিশে যায়। এই রকম মিশ্রণে দ্রাবক ও দ্রাবের কোনো পার্থক্য বোঝা যায় না। জলে দ্রবীভূত চিনির কণাগুলির ব্যাস 10^{-8} cm হয় বা এর চেয়ে ছোটো হয়।

● সংজ্ঞা ঃ **যখন কোনো পদার্থকে কোনো দ্রাবকের সঙ্গে মেশানো হয়, তখন এই মিশ্রণে পদার্থটির কণাগুলি বিভাজিত হয়ে 10^{-8} cm ব্যাসের কিংবা আরও ছোটো কণায় পরিণত হয়ে দ্রাবকের অণুর মাঝে স্থান নিয়ে দ্রাবকের সঙ্গে ওতপ্রোত এবং সমসত্ত্বভাবে মিশে গিয়ে যে মিশ্রণের সৃষ্টি করে তাকে প্রকৃত দ্রবণ বলে।**

তাহলে দেখা গেল, পদার্থের কণার আকারের উপর মিশ্রণের প্রকৃতি নির্ভর করে।

(a) কণার ব্যাস 10^{-4}cm কিংবা তার বেশি হলে কণাগুলি অদ্রাব্য হয়।

(b) কণার ব্যাস 10^{-5}cm থেকে 10^{-7}cm-এর মধ্যে হলে কলয়েড অবস্থার সৃষ্টি হয়।

(c) কণার ব্যাস 10^{-8}cm বা তার কম হলে প্রকৃত দ্রবণের সৃষ্টি হয়।

কলয়েড কণাগুলিকে খালি চোখে দেখা যায় না, তবে আলট্রামাইক্রোস্কোপ-এর তীব্র আলোর পথে রাখলে কলয়েড কণাগুলির উপস্থিতি ধরা যায়, কিন্তু প্রকৃত দ্রবণের কণাগুলি খুব শক্তিশালী মাইক্রোস্কোপ যন্ত্রেও দেখা যায় না বা ওদের উপস্থিতি ধরা পড়ে না।

4.10. কলয়েড সিস্টেম এবং প্রকৃত দ্রবণের পার্থক্য [Differences between Colliodal System and True solution]

ধর্ম	কলয়ডীয় সিস্টেম	প্রকৃত দ্রবণ
(1) কণার ব্যাস	(1) কলয়ডীয় সিস্টেমে কণাগুলির ব্যাস 10^{-5} থেকে 10^{-7} cm-এর মধ্যে হয়।	(1) প্রকৃত দ্রবণে দ্রাবের অণুগুলির ব্যাস = 10^{-8} cm কিংবা আরও ছোটো।
(2) দৃশ্য না অদৃশ্য	(2) কলয়ডীয় কণা খালি চোখে বা অণুবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে দেখা যায় না। আলট্রা-মাইক্রোস্কোপ যন্ত্রে কণাগুলির উপস্থিতি ধরা যায়।	(2) আলট্রা-মাইক্রোস্কোপ যন্ত্রেও দেখা যায় না।
(3) প্রকৃতি	(3) অসমসত্ত্ব এবং অস্বচ্ছ।	(3) সমসত্ত্ব ও স্বচ্ছ।
(4) তড়িদ্‌ধর্ম	(4) কোনো কোনো ক্ষেত্রে কলয়েডকণার তড়িদ্‌ধর্ম দেখা যায়।	(4) আণবিক অবস্থায় বা আয়নিত অবস্থায় থাকে।
(5) বর্ণ	(5) বর্ণ, কলয়েড কণার আকারের উপর নির্ভর করে।	(5) বর্ণ, দ্রবীভূত হওয়া অণু বা আয়নের মত হয়।
(6) তঞ্চন ক্ষমতা	(6) উত্তপ্ত করে বা তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থ যোগ করে কলয়েড কণাগুলিকে জমাট বাঁধানো যায়।	(6) প্রকৃত দ্রবণের কণাগুলিকে জমাট বাঁধানো যায় না।
(7) টিন্ডাল ক্রিয়া	(7) তীব্র আলোকরশ্মি ফেললে কলয়েডকণা আলোকরশ্মিকে চারিদিকে বিচ্ছুরিত করে। একেই টিন্ডাল ক্রিয়া বলে।	(7) দ্রবণে আলোকরশ্মি চালনা করলে আলোর প্রতিফলন বা বিচ্ছুরণ হয় না, ফলে দ্রবণ স্বচ্ছ দেখায়।
(8) ফিলটার কাগজ অতিক্রম ক্ষমতা	(8) কলয়েডকণা ফিলটার কাগজের মধ্য দিয়ে যেতে পারে কিন্তু পার্চমেন্ট কাগজের মধ্যদিয়ে যেতে পারে না।	(8) প্রকৃত দ্রবণের কণাগুলি ফিলটার কাগজ বা পার্চমেন্ট কাগজের মধ্য দিয়ে সহজে চলে যায়।
(9) ব্রাউনীয় গতি	(9) ব্রাউনীয় গতি আছে।	(9) ব্রাউনীয় গতি নেই।

4.11. দ্রাবকের সঙ্গে সংযোগ প্রবণতার উপর ভিত্তি করে কলয়েডের শ্রেণিবিভাগ [Types of colloids on the basis of solvent affinity]

বিভিন্ন প্রকার সল বা কলয়েড সিস্টেমকে সাধারণত দুটি শ্রেণিতে ভাগ করা যায় ঃ

(i) লাইওফোবিক বা দ্রাবক-বিকর্ষি সল—যে কলয়েডের বিস্তার মাধ্যমের প্রতি একবারেই আসক্তি থাকে না, তাদের লাইওফোবিক সল বলে। যেমন, গোল্ড সল, সালফার সল, জিলেটিন ইত্যাদি।

(ii) লাইওফিলিক বা দ্রাবক-আকর্ষি সল—যে সব সলের বিস্তার মাধ্যমের প্রতি আসক্তি থাকে, তাদের লাইওফিলিক সল বলে। যেমন, গ্লু, স্টার্চ, গাম, অ্যালবুমিন ইত্যাদি।

(1) হাইড্রোফিলিক সল—যে সব কলয়েডের বিস্তার মাধ্যম জলের প্রতি আসক্তি থাকে, তাদের হাইড্রোফিলিক সল বা কলয়েড বলে। এগুলি সাধারণত জৈব পদার্থ হয়। যেমন, গাম, গ্লু, স্টার্চ, জিলেটিন, অ্যালবুমিন ইত্যাদি।

হাইড্রোফিলিক সল খুব স্থায়ী—সহজে তঞ্চন হয় না, তবে অ্যালকোহল অথবা নিরুদক পদার্থ যোগ করলে অথবা অনেক ক্ষেত্রে খুব ঠান্ডা করলে তঞ্চিত হয়। উৎপন্ন সলের সান্দ্রতা জলের চেয়ে বেশি হয়। এই জাতীয় সল সহজে জিলেটিনের মতো ঘনীভূত হয় এবং ওদের আইসো-ইলেকট্রিক বিন্দু আছে। সাধারণ দ্রবণের মতো এই জাতীয় সল প্রস্তুত করা যায়। হাইড্রোফিলিক সলের সঙ্গে জল মিশিয়ে উত্তপ্ত করলেই এই জাতীয় কলয়েড পাওয়া যায়। এই জাতীয় সলের জলীয় মিশ্রণকে উত্তপ্ত করলে জল বাষ্পীভূত হয়ে যায় এবং কলয়েডকে কঠিন অবস্থায় পাওয়া যায়। এই কঠিনের সঙ্গে আবার জল মেশালে জলের সঙ্গে মিশে আবার কলয়ডীয় মিশ্রণ পাওয়া যায়।

(2) হাইড্রোফোবিক সল ঃ যে সব কলয়েডের বিস্তার মাধ্যম জলের প্রতি একেবারেই আসক্তি থাকে না, তাদের হাইড্রোফোবিক সল বলে। এই জাতীয় সলগুলি সাধারণত অজৈব পদার্থ হয়। যেমন, ধাতু, ধাতব সালফাইড, অক্সাইড ইত্যাদি।

এই জাতীয় সল সাধারণত অস্থায়ী—সহজেই তঞ্চিত হয় এবং এই জাতীয় সলের সান্দ্রতা জলের সমান হয়। এই জাতীয় সল জিলেটিনের মতো সহজে ঘনীভূত না হলেও, কণাগুলির তড়িতাধান পরিবর্তন করলে অস্থায়ী হয়ে পড়ে। এই জাতীয় সলকে পরোক্ষ পদ্ধতি দ্বারা প্রস্তুত করা যায়।

● **হাইড্রোফিলিক এবং হাইড্রোফোবিক সলের মধ্যে পার্থক্য ঃ**

ধর্ম	হাইড্রোফিলিক সল	হাইড্রোফোবিক সল
(1) প্রস্তুতি	(1) জলের প্রতি আসক্তি আছে। জলের সঙ্গে সরাসরি মিশিয়ে খুব সহজেই প্রস্তুত করা যায়।	(1) জল বিদ্বেষী সল, তাই সহজ উপায়ে প্রস্তুত করা যায় না। বিশেষ বিশেষ কতকগুলি প্রক্রিয়ার সাহায্যে প্রস্তুত করা যায়।
(2) অধঃক্ষেপণ বা তঞ্চন	(2) সহজে তঞ্চিত হয় না—উভমুখী।	(2) সহজে তঞ্চিত হয়—একমুখী।
(3) কণার প্রকৃতি	(3) এই জাতীয় কণাগুলি হল প্রকৃত অণু এবং আকারে বড়ো।	(3) অনেকগুলি অণুর মিলিত জোট।
(4) কণাগুলি দৃশ্যমান কিনা	(4) সলের কণাগুলি খালি চোখে বা আল্ট্রা মাইক্রোস্কোপ যন্ত্রের সাহায্যেও দেখা যায় না।	(4) সলের কণাগুলিকে খালি চোখে দেখা না গেলেও আল্ট্রামাইক্রোস্কোপ যন্ত্রের সাহায্যে এদের উপস্থিতি বোঝা যায়।
(5) স্থায়িত্ব	(5) খুবই স্থায়ী।	(5) সুস্থিত নয়—সহজেই অধঃক্ষিপ্ত হয়।
(6) সল কণার আধান	(6) এই জাতীয় সল কণার আধান থাকতে পারে—নাও পারে।	(6) এই জাতীয় সল কণায় তড়িৎআধান উপস্থিত থাকে।
(7) জলযোজন	(7) এই জাতীয় সলের কণাগুলি খুব বেশি জলযোজিত অবস্থায় থাকে।	(7) জলের প্রতি আসক্তি নেই বলে এই জাতীয় সল কণাগুলি বেশি জলযোজিত অবস্থায় থাকে না।
(8) সান্দ্রতা	(8) এই জাতীয় সলের সান্দ্রতা জলের চেয়ে বেশি।	(8) এই জাতীয় সলের সান্দ্রতা জলের প্রায় সমান।
(9) টিন্ডাল ক্রিয়া	(9) সলকণাগুলি টিন্ডাল ক্রিয়া দেখায় না।	(9) সল কণাগুলি টিন্ডাল ক্রিয়া দেখায়।
(10) জেল গঠন	(10) সহজে হয়।	(10) খুব কম হয়।

4.12. কলয়েড বা সল প্রস্তুতি [Preparation of colloid or sol]

(1) হাইড্রোফিলিক সল প্রস্তুতি—স্টার্চ, সাবান, গ্লু, গাম প্রভৃতি হাইড্রোফিলিক জৈব যৌগগুলিকে উপযুক্ত উষ্ণতায় জলে মিশিয়ে ঝাঁকালে এই জাতীয় সল প্রস্তুত হয়। যেমন, গাম বা অ্যালবুমিনকে জলে মিশিয়ে ঝাঁকালে ওদের সল তৈরি হয়।

(2) হাইড্রোফোবিক সল প্রস্তুতি ঃ

(A) রাসায়নিক প্রক্রিয়া দ্বারা ক্ষুদ্রতর কণার আকার বাড়িয়ে কলয়ডীয় কণার আকারে আনা ঃ

(i) বিনিময় বিক্রিয়া দ্বারা—যেমন, আর্সেনিয়াস অক্সাইডের জলীয় দ্রবণের মধ্য দিয়ে H_2S গ্যাস চালনা করলে আর্সেনিয়াস সালফাইড কলয়েড কণার আকারে পাওয়া যায়। H_2 গ্যাস চালনা করে অতিরিক্ত H_2S কে অপসারিত করে কলয়েডটিকে বিশুদ্ধ করা হয়।

$$As_2O_3 + 3H_2S = As_2S_3 \text{ (সল)} + 3H_2O$$

(ii) আর্দ্রবিশ্লেষণ দ্বারা—যেমন, ফেরিক ক্লোরাইডের আর্দ্রবিশ্লেষণের ফলে ফেরিক হাইড্রক্সাইডের কলয়ডীয় মিশ্রণ পাওয়া যায়। সদ্য প্রস্তুত সম্পৃক্ত ফেরিক ক্লোরাইড দ্রবণকে বিন্দু বিন্দু করে ফুটন্ত জলে যোগ করলে আর্দ্রবিশ্লেষিত হয়ে লাল বর্ণের ফেরিক হাইড্রক্সাইড সল প্রস্তুত হয়।

$$FeCl_3 + 3H_2O = Fe(OH)_3 \text{ (সল)} + 3HCl$$

(iii) জারণ-প্রক্রিয়া দ্বারা—যেমন, ব্রোমিন-জলের মধ্য দিয়ে H_2S চালনা করলে, H_2S জারিত হয়ে কলয়েডীয় সালফার উৎপন্ন করে।

$$Br_2 + H_2S = S \text{ (সল)} + 2HBr, \quad SO_2 + 2H_2S = 3S \text{ (সল)} + 2H_2O$$

(iv) বিজারণ দ্বারা—গোল্ড ক্লোরাইডকে $SnCl_2$ দ্বারা বিজারিত করলে ধাতব গোল্ড কলয়ডীয় অবস্থায় পাওয়া যায়।

$$2AuCl_3 + 3SnCl_2 = 3SnCl_4 + 2Au \text{ (সল)}$$

(v) সোডিয়াম সিলিকেটের (Na_2SiO_3) জলীয় দ্রবণে 4(N) HCl দ্রবণ যোগ করে দ্রবণটিকে আম্লিক করার পর ওর সঙ্গে অতিরিক্ত পরিমাণ জল যোগ করে ঝিল্লিবিশ্লেষণ দ্বারা বিশুদ্ধ করা হয়।

(B) বড়ো কণার আকার ছোটো করে কলয়ডীয় কণার আকারে আনা ঃ

(i) চূর্ণীকরণ দ্বারা—যন্ত্রের সাহায্য কোনো পদার্থের বড়ো কণাগুলিকে পেষণ করে কলয়েড কণা তৈরি করা যায়। বড়ো আকারের পদার্থ-কণাকে বিস্তার মাধ্যমে রেখে, পরস্পর বিপরীত দিকে ঘুরছে (মিনিটে 7000 পূর্ণ ঘূর্ণন) এমন দুটি চাকতির মধ্য দিয়ে চালনা করলে, বড়ো কণাগুলি ভেঙে কলয়েড কণার আকার পায়।

(ii) পেপ্‌টাইজেশন্ (Peptization) প্রক্রিয়া ঃ এই পদ্ধতিতে অধঃক্ষিপ্ত পদার্থের কঠিন কণাগুলিকে বিস্তার মাধ্যমে রেখে উপযুক্ত কোনো তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থের উপস্থিতিতে বড়ো কণাগুলিকে বিচ্ছিন্ন করে ছোটো কলয়ডীয় কণায় পরিণত করা হয়। যেমন,

(a) সদ্যপ্রস্তুত ফেরিক হাইড্রক্সাইডের অধঃক্ষেপের সঙ্গে সামান্য ফেরিক ক্লোরাইডের দ্রবণ যোগ করলে ফেরিক হাইড্রক্সাইড কণাগুলি কলয়েডীয় অবস্থায় চলে যায়। **অধঃক্ষেপের সঙ্গে কোনো তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থ যোগ করে অধঃক্ষেপটিকে আবার কলয়ডীয় অবস্থায় নিয়ে আসার প্রক্রিয়াকে পেপটাইজেশন বলে।** এই প্রক্রিয়ায় পদার্থের সূক্ষ্ম কণাগুলি তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থ থেকে সুবিধামতো আয়নকে অন্তর্ধৃত করে কলয়েড অবস্থায় আসে।

$$\underset{\text{অধঃক্ষেপ}}{Fe(OH)_3} + \underset{\text{অন্তর্ধৃত আয়ন}}{Fe^{3+}} \longrightarrow \underset{\text{সল কণা}}{Fe(OH)_3 \vdots Fe^{3+}}$$

(b) সোডিয়াম থায়োসালফেটের জলীয় দ্রবণে গাঢ় H_2SO_4 যোগ করলে সালফার অধঃক্ষিপ্ত হয়। এই অধঃক্ষেপকে দ্রুত ঠান্ডা জলে ধৌত করে আলোড়িত করলে সালফার কলয়ডীয় অবস্থায় আসে।



চিত্র 4.6 ঃ ব্রেডিগের পদ্ধতিতে কলয়েড প্রস্তুতি

(iii) ব্রেডিগের পদ্ধতি (Bredig's method) **ঃ** বিস্তার মাধ্যমের সঙ্গে কলয়েড রক্ষক কোনো পদার্থ যেমন KOH যোগ করে ওই বিস্তার মাধ্যমের মধ্যে রাখা দুটি ধাতব পাত যেমন, গোল্ড, কপার, সিলভারের মাঝে তড়িৎস্ফুলিঙ্গের সৃষ্টি করলে, ওই ধাতব তার থেকে ধাতুটির সূক্ষ্ম কলয়ডীয় কণা উৎপন্ন হয়, যা বিস্তার মাধ্যমের সঙ্গে যুক্ত হয়ে ওই ধাতুগুলির সল উৎপন্ন করে। দ্রাবকটিকে বরফের মধ্যে শীতল অবস্থায় রাখা হয়। এই পদ্ধতি দ্বারা গোল্ড, সিলভার, কপার প্রভৃতি ধাতুর সল প্রস্তুত করা হয়।

(iv) ইমালশীভবন (Emulsification) **ঃ তেল ও জলের মিশ্রণকে ইমালশীভবন সহায়ক রূপে সাবানের উপস্থিতিতে তীব্রভাবে আলোড়িত করলে অবদ্রব বা ইমালশন পাওয়া যায়।**

কলয়েডের বিশুদ্ধিকরণ ঃ উপরে বর্ণিত বিভিন্ন প্রক্রিয়ার সাহায্যে যে কলয়েড প্রস্তুত করা হয় তার মধ্যে নানা অশুদ্ধি থাকে—বিশেষ করে তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থ অশুদ্ধি রূপে উপস্থিত থাকে যা কলয়েডের স্থায়িত্ব নষ্ট করে। সাধারণত ঝিল্লিবিশ্লেষণ প্রক্রিয়ার সাহায্যে কলয়েডকে বিশুদ্ধ করা হয়।

4.13. কলয়ডীয় সিস্টেমের ধর্ম [Properties of Colloidal System]

(1) অসমসত্ত্বতা (Heterogenity) **ঃ** কলয়ডীয় সিস্টেম হল দুটি দশা বিশিষ্ট অসমসত্ত্ব মিশ্রণ। প্রলম্বিত কলয়েড কণাগুলি না থিতিয়ে প্রলম্বিত অবস্থাতেই থেকে যায়। কলয়েড কণাকে ফিলটার পেপারের সাহায্যে পরিস্রাবণ করে পৃথক করা যায় না, কারণ কলয়েড কণা এতো ছোটো যে ফিলটার পেপারের ছিদ্রের মধ্যে দিয়ে অনায়াসে বেরিয়ে আসে।

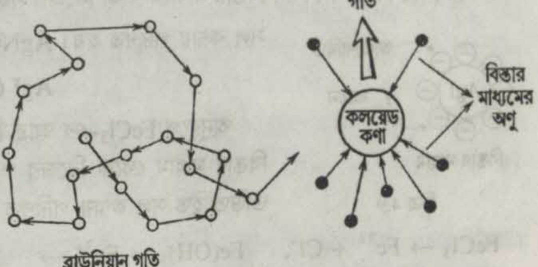
(2) স্থায়িত্ব ঃ কলয়েড সিস্টেম মোটামুটি সুস্থিত। কলয়েড কণাগুলি সবসময়ে গতিশীল থাকে, কখনো থিতিয়ে পড়ে না। কণাগুলিকে খালি চোখে দেখা না গেলেও, ইলেকট্রন মাইক্রোস্কোপ যন্ত্রের সাহায্যে ওদের উপস্থিতি ধরা যায়।

(3) কণার আকার ঃ সল বা কলয়েড কণাগুলি এতো ক্ষুদ্র যে সাধারণ ফিলটার পেপারের মধ্য দিয়ে বেরিয়ে যেতে পারে, তবে পার্চমেন্ট কাগজ, প্রাণীদেহের ব্লাডার বা কলয়ডিয়ন পর্দার মধ্য দিয়ে কণাগুলি বেরিয়ে আসতে পারে না।

(4) কলয়ডীয় সিস্টেমের সমাবর্তী (Colligative) **ধর্ম ঃ** সল কণাগুলির আণবিক গুরুত্ব অনেক বেশি এবং কণাগুলির আকারও বড়ো হওয়ার জন্য সলের প্রতি লিটারে কণার সংখ্যা, প্রকৃত দ্রবণের কণার সংখ্যার চেয়ে অনেক কম থাকে, তাই সল এবং বিস্তার মাধ্যমের হিমাঙ্ক ও স্ফুটনাঙ্কে খুব বেশি পার্থক্য থাকে না, ফলে হিমাঙ্কের অবনমন এবং স্ফুটনাঙ্কের উন্নয়ন খুব কম হয়।

(5) **কলয়েড সিস্টেমের অভিস্রাবণ চাপ সাধারণত খুবই কম।** আবার হাইড্রোফোবিক সলের ক্ষেত্রে পরীক্ষার সাহায্যে অভিস্রাবণ চাপ নির্ণয় করা কঠিন, কারণ এই জাতীয় সল থেকে তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থকে সম্পূর্ণ মুক্ত করা খুব অসুবিধাজনক। আবার সলের মধ্যে সামান্য পরিমাণ তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থের উপস্থিতি ওর অভিস্রাবণ চাপকে (osmotic pressure) এত বেশি প্রভাবিত করে যে কলয়েডের সঠিক আস্রাবণ চাপ কিছুতেই পাওয়া যায় না। তবে **হাইড্রোফিলিক সলের আস্রাবণ চাপ সঠিক ভাবে নির্ণয় করা যায়।**

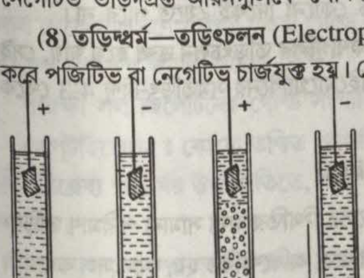
(6) **ব্রাউনিয়ান গতি** (Brownian movement) ঃ তীব্র শক্তিসম্পন্ন আলট্রা-মাইক্রোস্কোপ যন্ত্রের সাহায্যে দেখলে দেখা যায় যে কলয়েড দ্রবণে, কলয়েড কণাগুলি কখনও স্থির থাকে না, সব সময় আঁকা-বাঁকা পথে ইতস্তত ঘুরে বেড়ায়। কলয়েড কণাগুলির এই সঞ্চালন কোনো নিয়ম মেনে চলে না, প্রতিমুহূর্তে এর অভিমুখ যে কোনো দিকে পরিবর্তিত হয়। কলয়েড কণাগুলির এরকম গতিকে ব্রাউনীয় গতি বলে। ব্রাউনীয় গতির কারণ হিসাবে বলা যায় যে, বিস্তার মাধ্যমের অণুগুলি প্রলম্বিত কলয়েড কণাগুলিকে বিভিন্ন দিক থেকে অসমান ভাবে নিরন্তর আঘাত করতে থাকে, এর ফলে কণাগুলি গতি পায়। গতিপথে অন্যান্য অণুগুলির সঙ্গে ধাক্কা খেয়ে অনবরত দিক পরিবর্তন করে। কণার আকার যত ছোটো হয়, সল কণার গতিও তত দ্রুত হয়। সাধারণ আকারের সল কণাগুলির গতিবেগ সেকেন্ডে কয়েক সেন্টিমিটার মাত্র। বিস্তৃত দশার কণাগুলির আকার যদি বড়ো হয় তাহলে ওই কণার ওপর বিস্তার মাধ্যমের অণুগুলির অসমান আঘাতের সংখ্যা কমে যায়, ফলে ব্রাউনীয় গতিও কমে যায়।



চিত্র 4.7

(7) **অন্তর্ধৃতি ঃ কলয়েড কণার তীব্র অন্তর্ধৃতি ক্ষমতা আছে।** কলয়েড কণাগুলির মিলিত তল-ক্ষেত্রফল অনেক বেশি হয় বলে এই ধর্ম দেখা যায়। কলয়েড সিস্টেম প্রস্তুতির সময় কলয়েড কণা, বিস্তার মাধ্যমে উপস্থিত আয়নগুলির মধ্যে যেকোনো এক রকম আয়নের প্রতি বিশেষ আসক্তি দেখিয়ে আয়নগুলিকে অন্তর্ধৃত করে। কলয়েড কণাগুলি ওই জাতীয় আয়নগুলিকে কোনো রকম রাসায়নিক সংযোগ ছাড়াই নিজের বাইরের তলে আটকে রাখে। এর ফলে কতকগুলি কলয়েড কণা, যেমন $Fe(OH)_3$, $Al(OH)_3$ পজিটিভ তড়িদ্‌গ্রস্ত আয়নকে শোষণ করে পজিটিভ তড়িদ্‌গ্রস্ত হয়। আবার গোল্ড, As_2O_3 প্রভৃতি কলয়েড কণাগুলি নেগেটিভ তড়িদ্‌গ্রস্ত আয়নগুলিকে শোষণ করে নেগেটিভ তড়িদ্‌গ্রস্ত হয়ে যায়।

(8) **তড়িদ্ধর্ম—তড়িৎচলন** (Electrophoresis—Cata-phoresis) ঃ কলয়েড কণাগুলি বিভিন্ন ধরনের আয়নকে অধিশোষণ করে পজিটিভ বা নেগেটিভ চার্জযুক্ত হয়। যেমন আর্সেনিয়াস সালফাইড As_2S_3 সল, গোল্ড সল, প্লাটিনাম সল, সিলভার সলগুলির কলয়েড কণা, নেগেটিভ তড়িদ্‌গ্রস্ত আয়নকে শোষণ করে নেগেটিভ তড়িদ্‌গ্রস্ত হয়, আবার $Fe(OH)_3$, $Al(OH)_3$ প্রভৃতি হাইড্রক্সাইড সলগুলি পজিটিভ তড়িদ্‌গ্রস্ত আয়নের সঙ্গে যুক্ত হয়ে পজিটিভ তড়িদ্‌গ্রস্ত হয়। তাই কোনো তড়িৎক্ষেত্রে কলয়েড রাখলে তড়িদ্‌গ্রস্ত কলয়েড কণাগুলি কোনো একটি নির্দিষ্ট তড়িদ্দ্বারের দিকে চলতে থাকে। কলয়েড কণাগুলির এই রকম চলনকে **তড়িৎচলন** (Electrophoresis) বলে। **পজিটিভ তড়িদ্‌গ্রস্ত কণাগুলির গতি ক্যাথোডের দিকে হয়—একে ক্যাটাফোরেসিস** (Cataphoresis) **বলে।** আবার **নেগেটিভ তড়িদ্‌গ্রস্ত কণাগুলির গতি অ্যানোডের দিকে হয়—একে অ্যানাফোরেসিস** (Anaphoresis) **বলে।**



চিত্র 4.8 ঃ তড়িৎ চলন

ইলেকট্রোফোরেসিস সংক্রান্ত ঘটনাগুলির ব্যাখ্যার জন্য মনে করা হয় যে, সল কণাগুলির পৃষ্ঠতল এবং বিস্তার মাধ্যমের মধ্যে নিশ্চয় কোনো বিভব প্রভেদ উপস্থিত থাকে, যার প্রভাবে সল কণাগুলির মধ্যে এই রকম গতির সৃষ্টি হয়। এই বিভবকে বলা হয় **জিটা বিভব** (Zeta potential)।

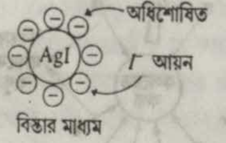
একটি U নলে নেগেটিভ তড়িদ্‌গ্রস্ত কলয়েড কণার মিশ্রণ রেখে তড়িৎপ্রবাহ করলে নেগেটিভ তড়িদ্‌গ্রস্ত কলয়েড কণাগুলির গতি অ্যানোডের দিকে হয়,— 4.8 চিত্রে দেখানো হল। কোনো কলয়েড কণাগুলির চলন অ্যানোডের দিকে হলে বুঝতে হবে

কলয়েড কণাগুলি নেগেটিভ তড়িদ্‌গ্রস্ত। অপরদিকে কণাগুলির চলন ক্যাথোডের দিকে হলে বুঝতে হবে যে কলয়েড কণাগুলি পজিটিভ তড়িদ্‌গ্রস্ত।

● **কলয়েড কণায় তড়িৎআধানের উৎপত্তির কারণ ঃ** কলয়েড কণায় তড়িৎআধানের উৎপত্তি সম্বন্ধে নানা মতবাদ আছে— দুটি মতবাদের বিষয় এখানে বলা হল—

(i) এক এক প্রকার কলয়েড কণার এক একটি বিশেষ আয়নের প্রতি আসক্তি আছে। তাই বিস্তৃত দশায় থাকা কোনো সল কণা অনেক ক্ষেত্রে নিজের পছন্দমতো শুধু সেই আয়নগুলিকে অধিশোষণ করে, যেগুলি তার নিজের **ল্যাটিস আয়নের** উপযুক্ত হয়। তাই সল কণাটি ওই নির্দিষ্ট আয়নকে অধিশোষণ করে নিজে তড়িতাহিত কণায় পরিণত হয়।

যেমন **পটাশিয়াম আয়োডাইড** (KI) দ্রবণে **সিলভার নাইট্রেট দ্রবণ** ($AgNO_3$) যোগ করলে, **সিলভার আয়োডাইড** সল কণা উৎপন্ন হয়। এই AgI সলকণা, বিস্তার মাধ্যমে থাকা নিজের পছন্দ মত সম-আয়ন I^- কে অধিশোষণ করে **নেগেটিভ তড়িতাহিত** সল কণায় পরিণত হয়। $AgNO_3 + KI \rightarrow AgI$ (সল) $+ KNO_3$



চিত্র 4.9

AgI (সল) $+ I^- \rightarrow$ AgI ┊ I^- তড়িতাহিত সল

অনুরূপে $FeCl_3$-এর আর্দ্র বিশ্লেষণে $Fe(OH)_3$ সল উৎপন্ন হয়। এভাবে উৎপন্ন সল কণা বিস্তার মাধ্যম থেকে নিজের পছন্দমতো সমআয়ন Fe^{3+} আয়নকে অধিশোষণ করে পজিটিভ তড়িতাহিত সল কণায় পরিণত হয়।

$FeCl_3 \rightarrow Fe^{3+} + Cl^-$, $\quad Fe(OH)_3 + Fe^{3+} \rightarrow Fe(OH)_3$ ┊ Fe^{3+} (পজিটিভ তড়িতাহিত সলকণা)

অধিশোষিত আয়ন

(ii) পৃষ্ঠতল অণুর বিয়োজনে তড়িতাহিত সল কণার সৃষ্টি হয়। যেমন, সাবানের সঙ্গে জল যোগ করলে যে সল উৎপন্ন হয় তা হল সোডিয়াম পামিটেট। লবণটি এইভাবে বিয়োজিত হয়— $C_{15}H_{31}COONa \rightleftharpoons C_{15}H_{31}COO^- + Na^+$

Na^+ আয়নগুলি বিস্তার মাধ্যমে চলে যায়, কিন্তু হাইড্রোকার্বন শৃঙ্খলের দুর্বল আকর্ষণের প্রভাবে $C_{15}H_{31}COO^-$ আয়নগুলি পরস্পর সংযোজিত হয়ে বড়ো তড়িতাহিত সল কণার সৃষ্টি করে।

● **আইসো-ইলেকট্রিক বিন্দু** (Iso-electric point) ঃ হাইড্রোফিলিক সলগুলি, বিশেষ করে বিভিন্ন ধরনের প্রোটিন যেমন, অ্যালবুমিন, জিলেটিন ইত্যাদি উভধর্মী প্রকৃতির হয়। যেমন তীব্র অ্যাসিড দ্রবণে প্রোটিন অণুগুলি পজিটিভ আধানগ্রস্ত এবং তীব্র ক্ষারীয় দ্রবণে অণুগুলি নেগেটিভ আধানগ্রস্ত হয়। এই জাতীয় উভধর্মী প্রকৃতির কলয়েড সিস্টেমে উপস্থিত হাইড্রোজেন আয়নের (H^+) গাঢ়ত্ব একটি নির্দিষ্ট পরিমাণে এলেই কলয়েড কণাগুলি ক্যাথোড বা অ্যানোড কোনো দিকেই যেতে পারে না।

হাইড্রোফিলিক সলগুলির ক্ষেত্রে, সিস্টেমে হাইড্রোজেন আয়নের যে গাঢ়ত্বে সলকণাগুলির তড়িৎচলন স্তব্ধ হয়ে যায়, সেই গাঢ়ত্বের pH-কে কলয়েডটির সমতড়িৎ-বিন্দু বা আইসো-ইলেকট্রিক পয়েন্ট বলে। হিমোগ্লোবিনের সমতড়িৎ-বিন্দু 4·3 থেকে 4·5 pH-এর মধ্যে হয়।

4.14. তঞ্চনক্রিয়া এবং পেপ্‌টাইজেশন [Coagulation and Peptization]

(a) তঞ্চন ক্রিয়া (Coagulation) ঃ লাইওফোবিক বা হাইড্রোফোবিক কলয়ডীয় সলের স্থিতির জন্য সামান্য পরিমাণ তড়িদ্‌-বিশ্লেষ্য পদার্থের উপস্থিতির প্রয়োজন হয়। তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থের আয়নগুলি সল কণা দ্বারা অধিশোষিত হয়, ফলে সল কণাগুলি কিছু পরিমাণ পজিটিভ বা নেগেটিভ আধান পায়। একই তড়িৎ দ্বারা আহিত সল কণাগুলি পরস্পরকে বিকর্ষণ করে ফলে কণাগুলি পরস্পরের সঙ্গে সংযোজিত হয়ে বড়ো কণায় পরিণত হতে পারে না। সুতরাং দেখা গেল যে স্বাভাবিকভাবে কলয়েড কণায় কিছু পরিমাণ আধান থাকেই। এই সল কণার সঙ্গে অতিরিক্ত পরিমাণ তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থ যোগ করলে কলয়েড কণাগুলি তড়িদ্‌-বিশ্লেষ্য পদার্থ থেকে নিজ আধানের বিপরীত জাতীয় আধানগ্রস্ত আয়নকে গ্রহণ করে তড়িৎ প্রশমিত হয়। তড়িৎ প্রশমিত কলয়েড কণাগুলি সহজেই পরস্পরের কাছে আসতে পারে এবং পরস্পর সংযোজিত হয়ে বড়ো কণায় পরিণত হয় যা অভিকর্ষের টানে নীচে থিতিয়ে পড়ে।

সব তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থের তঞ্চন-ক্ষমতা সমান নয়—তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থগুলির তঞ্চন-ক্ষমতা স্থির হয় যোজ্যতা দ্বারা অর্থাৎ কলয়ডটির বিপরীতধর্মী আয়নটির আধানের মান দ্বারা। যেমন, ধনাত্মক আধানযুক্ত $Fe(OH)_3$ সলের তঞ্চনে একযোজী Cl^- বা

NO_3^- আয়নের চেয়ে দ্বিযোজী SO_4^{2-} আয়ন প্রায় 50 গুণ বেশি কার্যকরী। নেগেটিভআধানযুক্ত As_2S_3 সলের তঞ্চনে, তঞ্চনকারী পদার্থের পজিটিভ আধানের মান যত বেশি হবে, তঞ্চনের কার্যকারিতা তত বেশি হবে।

এই তথ্যটি সুলজ হার্ডির সূত্রে বলা হয়েছে। **কোনো তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থের তঞ্চন ক্ষমতা, যে আয়নটি, কলয়েড কণাটির আধানের বিপরীতধর্মী, প্রধানত সেই আয়নটির যোজ্যতার সমানুপাতিক হবে।**

উদাহরণ ঃ যেমন নেগেটিভ সল কণা, As_2S_3-এর তঞ্চনের জন্য বিভিন্ন ক্যাটায়নগুলিকে ওদের তঞ্চন-ক্ষমতার ঊর্ধ্ব ক্রমানুসারে দেখান হল। $Na^+ < Mg^{2+} < Al^{3+}$

অনুরূপে পজিটিভ সল $Fe(OH)_3$-এর তঞ্চনের জন্য বিভিন্ন অ্যানায়নগুলিকে ওদের তঞ্চন ক্ষমতার ঊর্ধ্বক্রম অনুসারে দেখান হল। $Cl^- < SO_4^{2-} < PO_4^{3-} < Fe(CN)_6^{4-}$

তঞ্চন বা কোয়াগুলেশনের অপর কয়েকটি পদ্ধতি— (1) দুটি বিপরীত আধানগ্রস্ত সল যেমন পজিটিভ সল $Fe(OH)_3$ এবং নেগেটিভ সল As_2S_3 কে সম-মোলার অনুপাতে পরস্পরের সঙ্গে মেশালে সল দুটির বিপরীত আধান পরস্পরকে প্রশমিত করার ফলে আধানহীন কণাগুলি তঞ্চিত হয়।

(2) ইলেকট্রোফোরেসিস দ্বারা কোনো সলকে U টিউবে রেখে ইলেকট্রোফোরেসিস প্রক্রিয়া অনেক সময় ধরে সম্পন্ন করলে আধানযুক্ত সল কণাগুলি তড়িদ্দ্বার স্পর্শ করে প্রশম অবস্থায় আসে এবং এক সময় সবগুলি সল কণা তড়িৎ হারিয়ে পরস্পর সংযোজিত হয়ে অধঃক্ষিপ্ত হয়।

(3) কলয়েডের মধ্যে সামান্য পরিমাণ তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থ উপস্থিত থাকার জন্য কলয়েডটি স্থায়ী হয়। এখন বারবার ডায়ালিসিস্ করে ওই কলয়েডের মধ্যস্থ তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থটিকে অপসারিত করলে, কলয়েড কণাগুলি অধঃক্ষিপ্ত হবে।

● হাইড্রোফিলিক সলের কলয়েড সংরক্ষণ ক্রিয়া ঃ

হাইড্রোফিলিক সল শুধু যে নিজেই খুব স্থায়ী তা নয়, হাইড্রোফোবিক সলের সঙ্গে যুক্ত হয়ে ওর স্থায়িত্ব বাড়ায়। বিভিন্ন হাইড্রোফিলিক সলের কলয়েড সংরক্ষণ ক্ষমতা কিন্তু সমান নয়। বিভিন্ন হাইড্রোফিলিক সলের কলয়েড সংরক্ষণ ক্ষমতার মাত্রা পরিমাপ করা হয় গোল্ড সংখ্যা দ্বারা।

গোল্ড সংখ্যা ঃ 0·0053 – 0·0058% গোল্ড সলকে প্রমাণ গোল্ড সল বলে। **10 সেমি^{3} প্রমাণ গোল্ড সলে, 1 সেমি^{3} 10% সেডিয়াম ক্লোরাইড দ্রবণ যোগ করলে, সলটির লাল থেকে বেগুনি বর্ণে পরিণত হওয়ার ঘটনাকে বাধা দিতে যত মিলিগ্রাম পরিমাণ কোনো নির্দিষ্ট হাইড্রোফিলিক সলের প্রয়োজন হয়, সেই সংখ্যাকে ওই হাইড্রোফিলিক সলের গোল্ড সংখ্যা বলে** (লাল থেকে নীল বর্ণে পরিণত হওয়া গোল্ড সলের তঞ্চন নির্দেশ করে)। জিলেটিনের গোল্ড সংখ্যা অনেক কম অর্থাৎ জিলেটিনের কলয়েড সংরক্ষণ ক্ষমতা অনেক বেশি।

সংরক্ষী সল জিলেটিনের গোল্ড সংখ্যা = (0·005 – 0·01) এবং হিমোগ্লোবিন গোল্ড সংখ্যা = (0·03 – 0·07)

পেপ্‌টাইজেশন ঃ কোনো তঞ্চিত পদার্থ অথবা সদ্য প্রস্তুত অধঃক্ষেপ বা অন্য কোনো কঠিন পদার্থের কণাগুলিকে, উপযুক্ত তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থের উপস্থিতিতে, পরস্পর থেকে বিচ্ছিন্ন করে কলয়ডীয় কণায় পরিণত করার প্রক্রিয়াকে পেপটাইজেশন বলা হয়।

সামান্য গাঢ় অবস্থায় অনেক আয়ন, পেপটাইজেশন প্রক্রিয়ায় পেপটাইজিং এজেন্ট বা পেপটাইজেশনের সহায়ক রূপে কাজ করে।

যেমন, সদ্য অধঃক্ষিপ্ত ফেরিক হাইড্রক্সাইডের সঙ্গে সামান্য ফেরিক ক্লোরাইডকে পেপটাইজিং এজেন্ট রূপে ব্যবহার করলে, সদ্য অধঃক্ষিপ্ত ফেরিক হাইড্রক্সাইডের কণাগুলি কলয়ডীয় অবস্থায় চলে যায়। এই প্রক্রিয়ায় ফেরিক হাইড্রক্সাইডের সূক্ষ্ম কণাগুলি তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থ $FeCl_3$ থেকে সুবিধাজনক আয়নকে (Fe^{3+}) অধিশোষণ করে কলয়ডীয় অবস্থায় চলে আসে।

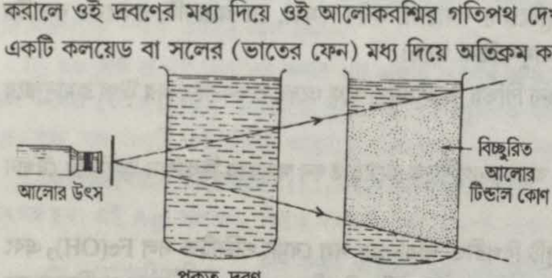
$FeCl_3 \rightleftharpoons Fe^{3+} + Cl^-$, $\quad Fe(OH)_3 + \underset{\text{অধিশোষিত আয়ন}}{Fe^{3+}} \rightarrow \underset{\text{+ ve সল কণা}}{Fe(OH)_3 \vdots Fe^{3+}}$

আবার $FeCl_3$-এর দ্রবণে NaOH দ্রবণ যোগ করে আলোড়িত করলে $Fe(OH)_3$ কণাগুলি দ্রবণ থেকে OH^- আয়নগুলিকে অধিশোষণ করে নেগেটিভ তড়িদ্‌গ্রস্ত কলয়েড কণায় পরিণত হয়।

$NaOH \rightleftharpoons Na^+ + OH^-$, $\quad Fe(OH)_3 + \underset{\text{অধিশোষিত আয়ন}}{OH^-} \rightarrow \underset{\text{–ve সল কণা}}{Fe(OH)_3 \vdots OH^-}$

4.15. কলয়েড কণার আলোকধর্ম-টিন্ডাল ক্রিয়া [Optical properties of Colloids—Tyndall effect]

অন্ধকার ঘরে রাখা একটি বিকারে প্রকৃত দ্রবণ (NaCl-এর জলীয় দ্রবণ) রেখে, দ্রবণটির মধ্য দিয়ে তীব্র আলোকরশ্মি অতিক্রম করালে ওই দ্রবণের মধ্য দিয়ে ওই আলোকরশ্মির গতিপথ দেখা যায় না। এখন, ওই তীব্র আলোকরশ্মিকে যদি বিকারে রাখা একটি কলয়েড বা সলের (ভাতের ফেন) মধ্য দিয়ে অতিক্রম করানো হয়, তাহলে রশ্মিটির গতিপথের সঙ্গে সমকোণে দাঁড়িয়ে দেখলে, ওই কলয়েডের মধ্যে দিয়ে ওই আলোকরশ্মির গতিপথ স্পষ্টভাবে দেখা যাবে।



চিত্র 4.10 ঃ টিন্ডাল ক্রিয়া

এর কারণ হল, কলয়েড কণাগুলিকে খালি চোখে দেখা না গেলেও, তীব্র আলোকরশ্মি গুচ্ছ কলয়েড কণাগুলির উপর পড়লে, প্রথমে আপতিত আলোকরশ্মিকে কণাগুলি শোষণ করে, পরে ওই শোষিত আলোর কিছু অংশকে কলয়েড কণাগুলি বিচ্ছুরিত করে দেয়। এখন যেহেতু বিচ্ছুরিত আলোকরশ্মির তীব্রতা, আপতিত রশ্মির সমতলের সঙ্গে সমকোণে অবস্থান করে, তাই কেবল সমকোণে দাঁড়ানো অবস্থান থেকেই কলয়েডের মধ্য দিয়ে আলোকরশ্মির গতিপথ দেখা যাবে। **প্রতিটি কলয়েড কণা থেকে আলোকরশ্মির বিচ্ছুরণের ফলে, কলয়েডের মধ্য দিয়ে আলোকরশ্মির গতিপথ দৃশ্যমান হওয়ার ঘটনাকে টিন্ডাল ক্রিয়া বলা হয় এবং আলোকরশ্মির আলোকিত গতিপথটিকে টিন্ডাল কোণ বলে।**

প্রকৃত দ্রবণের কণাগুলির আকার খুবই ছোটো হওয়ার জন্য কণাগুলি, আপতিত আলোকরশ্মির বিচ্ছুরণ ঘটাতে পারে না, তাই প্রকৃত দ্রবণ টিন্ডাল ক্রিয়া দেখায় না।

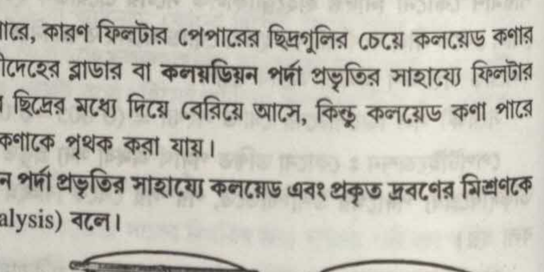
ব্যবহার ঃ (i) টিন্ডাল ক্রিয়ার ফলে কলয়েড কণাগুলি দ্বারা আলোক বিচ্ছুরিত হয়, এই অবস্থায় আলট্রা মাইক্রোস্কোপের সাহায্যে দেখলে কলয়েড কণাগুলিকে উজ্জ্বল আলোকবিন্দু রূপে দেখা যায় এবং ওদের সংখ্যাও নির্ণয় করা যায়। তবে কণাগুলির আকার সম্বন্ধে কিছু জানা যায় না। অন্যান্য ম্যাক্রো কণার গবেষণার কাজে টিন্ডাল ক্রিয়াকে কাজে লাগানো হয়। (ii) গ্যাসের বিশুদ্ধতার পরীক্ষায় টিন্ডাল ক্রিয়া ব্যবহার করা হয়। যেমন স্পর্শ পদ্ধতিতে H_2SO_4-এর শিল্পোৎপাদনে (SO_2 + বায়ু) মিশ্রণকে বিক্রিয়া প্রকোষ্ঠে পাঠাবার আগে ওই মিশ্রণে ধূলিকণা বা As_2O_3 এর কণা উপস্থিত আছে কিনা টিন্ডাল ক্রিয়ার সাহায্যে জানা যায়।

4.16. ডায়ালিসিস বা ঝিল্লিবিশ্লেষণ [Dialysis]

ফিলটার পেপারের মধ্য দিয়ে কলয়েড কণা বেরিয়ে যেতে পারে, কারণ ফিলটার পেপারের ছিদ্রগুলির চেয়ে কলয়েড কণার আকার আরও ছোটো। কিন্তু **পার্চমেন্ট কাগজ, সেলোফেন,** প্রাণীদেহের ব্লাডার বা **কলয়ডিয়ন পর্দা** প্রভৃতির সাহায্যে ফিলটার করলে দেখা যায় যে শুধু আয়ন বা ক্রিস্ট্যালয়েড কণা ওইগুলির ছিদ্রের মধ্যে দিয়ে বেরিয়ে আসে, কিন্তু কলয়েড কণা পারে না। এই ঘটনার উপর ভিত্তি করে ক্রিস্ট্যালয়েড এবং কলয়েড কণাকে পৃথক করা যায়।

● **সংজ্ঞা ঃ পার্চমেন্ট কাগজ, প্রাণীদেহের ব্লাডার বা কলয়ডিয়ন পর্দা প্রভৃতির সাহায্যে কলয়েড এবং প্রকৃত দ্রবণের মিশ্রণকে ব্যাপন প্রক্রিয়ার দ্বারা পৃথক করার পদ্ধতিকে ডায়ালিসিস (Dialysis) বলে।**

পরীক্ষা ঃ ছোটো একটি বেলজারের খোলা মুখ পার্চমেন্ট কাগজ দিয়ে ভালো করে বন্ধ করে জলনিরুদ্ধ করার পর, বেলজারের মধ্যে **পটাশিয়াম আয়োডাইড দ্রবণ (ক্রিস্ট্যালয়েড) এবং স্টার্চ-দ্রবণ (কলয়েড)** রেখে বেলজারটিকে ঝুলিয়ে অন্য একটি বড়ো জলপূর্ণ পাত্রের মধ্যে আংশিক ডুবিয়ে রাখা হল। কয়েক ঘণ্টা পরে বাইরের পাত্রের মধ্যে ক্লোরিন জল যোগ করলে আয়োডিনের বাদামি রং দেখা যাবে ($2KI + Cl_2 = 2KCl + I_2$)। এর থেকে পরিষ্কার বোঝা যায় যে বেলজারের মধ্যে থাকা পটাশিয়াম আয়োডাইড (ক্রিস্ট্যালয়েড) এবং স্টার্চ (কলয়েড)



চিত্র 4.11 ঃ ডায়ালিসিস

দ্রবণের মিশ্রণ থেকে পার্চমেন্ট কাগজের মধ্য দিয়ে শুধু KI দ্রবণ অর্থাৎ ক্রিস্ট্যালয়েড কণা বেরিয়ে এসেছে, কিন্তু স্টার্চ কণা অর্থাৎ

কলয়েড কণা মোটেই বের হতে পারে নি। যদি হত তাহলে স্টার্চ বেরিয়ে এসে, KI-এর সঙ্গে ক্লোরিন জলের বিক্রিয়ায় উৎপন্ন মুক্ত আয়োডিনের সঙ্গে ওই স্টার্চের বিক্রিয়ায় জলের রং নীল হয়ে যেত। অনেকক্ষণ ধরে KI এবং স্টার্চ দ্রবণের মিশ্রণকে ওই ভাবে রেখে দিলে সমস্ত KI, মিশ্রণ থেকে বেরিয়ে আসবে, বেলজারের মধ্যে পড়ে থাকবে শুধু স্টার্চ দ্রবণ। যদি বাইরের পাত্রের জলকে তাড়াতাড়ি সরাবার ব্যবস্থা করা হয়—তাহলে ক্রিস্ট্যালয়েড কণাগুলি আরো দ্রুত বেরিয়ে আসবে।

পার্চমেন্ট কাগজের মধ্য দিয়ে ক্রিস্ট্যালয়েডের এই রকম ব্যাপন (diffusion) আরও দ্রুত হতে পারে, যদি বাইরের পাত্রে ঠান্ডা জলের পরিবর্তে গরম জল ব্যবহার করা হয় (Hot dialysis)।

ইলেকট্রোডায়ালিসিস ঃ তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য ক্রিস্টালয়েডকে কলয়ডীয় দ্রবণ থেকে দ্রুত পৃথক করার জন্য ইলেকট্রোডায়ালিসিসের সাহায্য নেওয়া হয়। বাইরের পাত্রে জলের মধ্যে বেলজারের পার্চমেন্ট কাগজটিকে ঘিরে দুটি তড়িদ্দার রেখে ওই দুটি তড়িদ্দারের মধ্য দিয়ে তড়িৎপ্রবাহ করা হলে বেলজারের মধ্যস্থ ক্রিস্ট্যালয়েডের ব্যাপন দ্রুত হয় বলে এই প্রক্রিয়াকে ইলেকট্রো-ডায়ালিসিস (Electrodialysis) বলে।

ডায়ালেসিস পদ্ধতির প্রয়োগ ঃ প্রতিদিনের বিপাক ক্রিয়ায় দেহের রক্ত প্রতিনিয়ত দূষিত হচ্ছে। রক্তের দূষিত পদার্থগুলির বেশির ভাগই হল ক্রিস্টালয়েড যেমন, গ্লুকোজ, ইউরিয়া প্রভৃতি। রক্ত হল কলয়েডীয় পদার্থ। কিডনি ডায়ালিসিস প্রক্রিয়ার মাধ্যমে রক্ত থেকে ক্রিস্টালয়েড অশুদ্ধিগুলিকে দূর করে রক্তকে পরিষ্কার করে। কিন্তু কিডনি অকেজো হয়ে গেলে, রক্ত থেকে ওই রক্ত দূষণকারী ক্রিস্টালয়েডগুলিকে পৃথক করতে পারে না, অর্থাৎ অকেজো কিডনি ঝিল্লিবিশ্লেষণ করার ক্ষমতা হারায়। এর ফলে রক্তে দূষিত পদার্থ জমে রোগীর মৃত্যু ঘটায়। এই অবস্থায় কৃত্রিম কিডনি অর্থাৎ হেমোডায়ালাইজার যন্ত্র ব্যবহার করা হয়। ওই যন্ত্রের সাহায্যে অবিশুদ্ধ রক্তকে বিশুদ্ধ করে আবার দেহের মধ্যে পাঠান হয়। হেমোডায়ালাইজার যন্ত্রে সেলোফেনের তৈরি দুটি সমকেন্দ্রিক নলের, ভেতরের নলটির মধ্য দিয়ে দেহের অবিশুদ্ধ রক্তকে প্রবাহিত করা হয় এবং নল দুটি মাঝের স্থান দিয়ে জল প্রবাহিত করা হয়। এর ফলে রক্তে থাকা ক্রিস্টালয়েড অশুদ্ধিগুলি সেলোফেন ঝিল্লির মধ্য দিয়ে বেরিয়ে জলের সঙ্গে মিশে যায় এবং রক্ত অশুদ্ধি মুক্ত হয়।

সমুদ্রের জলে প্রচুর পরিমাণে ক্রিস্টালয়েড থাকে যেমন NaCl, $MgCl_2$, KCl, KI, NaI ইত্যাদি। সমুদ্রজল থেকে ক্রিস্টালয়েড জাতীয় পদার্থগুলিকে ঝিল্লিবিশ্লেষণ প্রক্রিয়া দ্বারা দূর করে বিশুদ্ধ পানীয় জলে পরিণত করার চেষ্টা করা হচ্ছে।

4.17. কলয়েড রসায়নের ব্যবহার [Uses of Colloid Chemistry]

(1) চিকিৎসায় অনেক ওষুধ কলয়ডীয় অবস্থায় খুবই কার্যকর হয় ; যেমন—কড মাছের তেল, গোল্ড ও সিলভারের কলয়েড, কালাজ্বরে অ্যান্টিমনির কলয়েড। (2) চর্মশিল্পে—প্রাণীর চামড়া কলয়ডীয় প্রকৃতির হয়। চামড়া ট্যান করার প্রক্রিয়ায় চামড়ায় কলয়েড কণাগুলি অধঃক্ষিপ্ত হয়। (3) ধোঁয়া, কুয়াশা, বাতাসের ধূলিকণা হল বাতাসে কলয়েড কণার প্রলম্বন। উচ্চ তড়িৎ বিভব-পার্থক্যবিশিষ্ট দুটি পাতের মধ্য দিয়ে এদের অতিক্রম করালে, এই কণাগুলি অধঃক্ষিপ্ত হয়। কারখানার চিমনি থেকে যে ধোঁয়া বের হয় তা পরিবেশকে দূষিত করতে পারে। এটা বন্ধ করার জন্য কারখানার চিমনিতে তড়িদ্‌গ্রস্ত পাত লাগানো থাকে। এর ফলে চিমনির মধ্য দিয়ে অতিক্রম করার সময় ধোঁয়ার মধ্যে উপস্থিত ধূলিকণা এবং কার্বন কণাগুলির তঞ্চন ঘটে, ফলে ওইগুলি অধঃক্ষিপ্ত হয়। (4) দুধ হল জলে স্নেহজাতীয় পদার্থের কলয়েডীয় দ্রবণ। চা হল জলে কলয়েড কণার দ্রবণ। (5) রবার-গাছের রস (latex) রবার কণার কলয়েড প্রলম্বন। অন্য পদার্থের উপর এই রবার কণাগুলিকে অধঃক্ষিপ্ত করলে রবার উৎপন্ন হয়। যেমন, রবার সলের আধানযুক্ত রবার কণাগুলি যন্ত্রের হাতলে ও বিভিন্ন যন্ত্রপাতির গায়ে জমান হয়। (6) জলের মধ্যস্থ কলয়েড কণাগুলিকে ফট্‌কিরির সাহায্যে অধঃক্ষিপ্ত করে পানীয় জল তৈরি করা হয়। (7) কালি, রং, প্লাস্টার, প্লাস্টিক, আঠা, গ্রাফাইট-লুব্রিক্যান্ট ইত্যাদি সবই বিভিন্ন বিস্তার মাধ্যমে কলয়ডীয় কণার বিস্তৃত দশা। (8) বর্জ্য সিউয়েজের মধ্যে আধানযুক্ত কলয়েড কণা বর্তমান থাকে। তড়িদ্দারের সাহায্যে সহজেই ওই কণাগুলিকে অধঃক্ষিপ্ত করা যায় এবং জল থেকে পৃথক করে সার রূপে ব্যবহার করা যায়। (9) সমুদ্রের জলে উপস্থিত NaCl, $MgCl_2$ প্রভৃতি তড়িৎবিশ্লেষ্য পদার্থগুলির সংস্পর্শে আসে বলে মোহনায় নদীর কাদাজল (কলয়েড কণা) তঞ্চিত হয়ে জমতে জমতে বদ্বীপের সৃষ্টি হয়।

● [C] তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থের দ্রবণ বা আয়নীয় দ্রবণ ●
[Electrolytic solution]

তড়িৎ পরিবাহী ঃ যে পদার্থের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ হয় তাকে তড়িৎ পরিবাহী পদার্থ বলে।

তড়িৎ পরিবাহী পদার্থ দুই প্রকার—(i) **ধাতব** এবং **অধাতব পরিবাহী** ও (ii) **তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থ।**

(i) **ধাতব এবং অধাতব পরিবাহী ঃ ধাতু এবং কয়েকটি অধাতু তড়িৎ পরিবহন করে এবং তড়িৎ পরিবহন করলে শুধু উষ্ণতার পরিবর্তন হওয়া ছাড়া ওদের রাসায়নিক ধর্মের কোনো পরিবর্তন হয় না।** যেমন—Cu, Ag, গ্রাফাইট ইত্যাদি।

তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থ (Electrolyte) **ঃ যে পদার্থ জলে বা বিশেষ কোনো দ্রাবকে দ্রবীভূত অবস্থায় অথবা গলিত অবস্থায় তড়িৎ পরিবহন করে এবং তড়িৎ পরিবহনের ফলে বিয়োজিত হয়ে নতুন পদার্থ উৎপন্ন করে, সেই পদার্থকে তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থ বলে।** যেমন, অ্যাসিড H_2SO_4, HCl প্রভৃতি ; **ক্ষার** NaOH, KOH প্রভৃতি ; **লবণ** NaCl, $MgCl_2$ প্রভৃতি।

তীব্র তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য ঃ দ্রবণে বা গলিত অবস্থায় যে তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যের বেশির ভাগ অণুই আয়নে বিয়োজিত হয়ে যায়, তাকে তীব্র তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থ বলে। যেমন—HCl, NaOH, NaCl ইত্যাদি।

মৃদু তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য ঃ দ্রবণে বা গলিত অবস্থায় যে তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যের খুব কম-সংখ্যক অণু আয়নে বিয়োজিত হয়, তাকে মৃদু তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থ বলে। যেমন—CH_3COOH, NH_4OH, HCN ইত্যাদি।

● **পরিবাহিতা** (Conductance) ঃ একটি পরিবাহীর মধ্য দিয়ে কত সহজে তড়িৎ প্রবাহিত হতে পারে তারই পরিমাপ হল পরিবাহিতা। পরিবাহীর রোধ পরিবাহীর মধ্য দিয়ে তড়িৎপ্রবাহকে নিয়ন্ত্রণ করে। অন্যান্য ভৌত অবস্থা অপরিবর্তিত থাকলে, কোনো পরিবাহীর রোধ (R), ওর দৈর্ঘ্যের (L) সমানুপাতিক এবং প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফলের (A) ব্যস্তানুপাতিক হয়।

অর্থাৎ $R \propto L/A$ বা, $R = \rho L/A$ (ρ = ধ্রুবক)। এই ধ্রুবক ρ-কে **রোধাঙ্ক** বলে। এর S.I. একক হল ওহম-মিটার। 1 ওহম সেমি = 0·01 ওহম-মিটার।

পরিবাহীর রোধের অন্যোন্যক রাশিটিকে ওই পরিবাহীর পরিবাহিতা বলে। একে C অক্ষর দ্বারা প্রকাশ করা হয়। পরিবাহীর রোধ = R হলে, পরিবাহীর পরিবাহিতা $\mathbf{C = 1/R = A/\rho L}$ হবে। S.I. পদ্ধতিতে পরিবাহিতার একক হল মো (mho) বা ohm^{-1} বা **সিমেন্স** (S)। উষ্ণতা বৃদ্ধির সাথে সাথে আয়নগুলির গতি বাড়ে বলে পরিবাহীর পরিবাহিতা বাড়ে।

4.18. আপেক্ষিক পরিবাহিতা [Specific Conductance]

বিভিন্ন পরিবাহীর উপাদানের বৈদ্যুতিক রোধের পারস্পরিক তুলনা করার জন্য আপেক্ষিক রোধের ধারণা করা হয়েছে।

1 সেন্টিমিটার বাহুবিশিষ্ট ঘনকের দুটি বিপরীত তলের মাঝের রোধকে ওই পরিবাহীর রোধাঙ্ক বা আপেক্ষিক রোধ বলা হয়। সুতরাং আপেক্ষিক পরিবাহিতার সংজ্ঞা রূপে বলা যায়—



চিত্র 4.12

● **সংজ্ঞা ঃ কোনো পরিবাহীর রোধাঙ্কের অন্যোন্যক রাশিটিকে ওই পরিবাহীর আপেক্ষিক পরিবাহিতা বলে। অর্থাৎ, কোনো তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থের দ্রবণের একক ঘনকের পরিবাহিতাকেই ওই তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য দ্রবণের আপেক্ষিক পরিবাহিতা বলে।**

অথবা, প্রতিটি এক বর্গ সেন্টিমিটার ক্ষেত্রফল বিশিষ্ট এবং পরস্পর থেকে এক সেন্টিমিটার দূরত্বে থাকা দুটি সমতল ও সমান্তরাল তড়িদ্দ্বারের মাঝের অংশে থাকা দ্রবণের পরিবাহিতাকে, ওই দ্রবণের আপেক্ষিক পরিবাহিতা বলে।

আপেক্ষিক পরিবাহিতাকে κ (**কাপ্পা**) গ্রিক অক্ষর দ্বারা প্রকাশ করা হয়। $\kappa = \frac{1}{\rho}$ যেহেতু রোধাঙ্ক $\rho = \frac{RA}{L}$ যেখানে L = দৈর্ঘ্য, R = রোধ এবং A = প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল। $\therefore\ \kappa = \frac{1}{\rho} = \frac{L}{RA}$ ... ... (4.11)

সুতরাং আপেক্ষিক পরিবাহিতা κ এর একক হল $\frac{cm}{ohm \times cm^2} = \frac{1}{ohm\ cm}$ **বা ওহম$^{-1}$ সেমি$^{-1}$**

S.I. এককে আপেক্ষিক পরিবাহিতার একক হল **সিমেন্স/মিটার বা ওহম$^{-1}$ মিটার$^{-1}$।**

আপেক্ষিক পরিবাহিতা (i) **উষ্ণতা,** (ii) **আয়নের যোজ্যতা,** (iii) **আয়নের গতির উপর নির্ভর করে।**

4.19. তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতা [Equivalent Conductivity]

বিভিন্ন তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থের তড়িৎ-পরিবাহিতার পারস্পরিক তুলনা করার জন্য, পদার্থগুলির আপেক্ষিক পরিবাহিতার পরিবর্তে তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতা ব্যবহার করা হয়।

● **সংজ্ঞা ঃ কোনো তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থের তুল্যাঙ্ক-পরিবাহিতা বলতে, দ্রবণটির সেই আয়তনের পরিবাহিতা বোঝায়, যার মধ্যে পদার্থটির এক গ্রাম তুল্যাঙ্ক পরিমাণ পদার্থ দ্রবীভূত থাকে এবং যে দ্রবণটি পরস্পর থেকে এক সেমি দূরত্বে থাকা দুটি সমান্তরাল তড়িদ্দ্বারের মাঝের অংশে থাকে।**

অর্থাৎ এক গ্রাম তুল্যাঙ্ক পরিমাণ কোনো তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থের দ্রবণে উপস্থিত সবগুলি আয়নের তড়িৎ পরিবহন করার ক্ষমতাকে ওই পদার্থের তুল্যাঙ্ক-পরিবাহিতা বলে। তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতাকে Λ (ল্যামডা) অক্ষর দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

পরিমাপ ঃ কোনো তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থের দ্রবণের আপেক্ষিক পরিবাহিতা (k) এবং দ্রবণটির যত আয়তনে (V সেমি^{3}) এক গ্রাম তুল্যাঙ্ক পরিমাণ তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থ দ্রবীভূত থাকে—এই দুটি রাশির গুণফল দ্বারা ওই দ্রবণটির তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতা পরিমাপ করা হয়।

$$\therefore \text{ তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতা } \Lambda = \kappa \times V = \frac{\kappa \times 1000}{c}$$

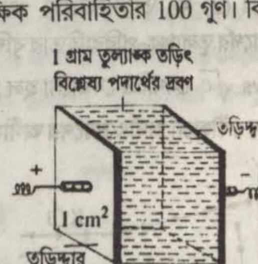
যেখানে $\kappa = c$ গাঢ়ত্ব বিশিষ্ট (প্রতি লিটারে c গ্রাম-তুল্যাঙ্ক) দ্রবণের আপেক্ষিক পরিবাহিতা।

● **আপেক্ষিক পরিবাহিতা ও তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতার মধ্যে সম্পর্ক ঃ**

ধরি এক গ্রাম-তুল্যাঙ্ক পরিমাণ কোনো নির্দিষ্ট তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য যে দ্রবণে দ্রবীভূত আছে, সেই দ্রবণকে পরস্পর থেকে এক সেমি দূরত্বে থাকা 1 সেমি^{2} ক্ষেত্রফল বিশিষ্ট দুটি সমতলীয় এবং সমান্তরাল তড়িদ্দ্বারের মাঝে রাখলে দ্রবণটির পরিবাহিতার মান = তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থটির তুল্যাঙ্ক-পরিবাহিতা।

এই অবস্থায়, পরিবাহিতা = আপেক্ষিক পরিবাহিতা (κ) = তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতা Λ হয়।

এখন ধরা যাক, দ্রবণটির সঙ্গে জল মিশিয়ে আয়তন 100 সেমি^{3} করা হল। এই অবস্থায় যেহেতু প্রতি 1 সেমি^{3} দ্রবণের পরিবাহিতা = আপেক্ষিক পরিবাহিতা। সুতরাং 100 সেমি^{3} দ্রবণের পরিবাহিতা হবে আপেক্ষিক পরিবাহিতার 100 গুণ। কিন্তু আয়তন 100 সেমি^{3} হলেও তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যের পরিমাণ এক গ্রাম তুল্যাঙ্ক থাকায় তুল্যাঙ্ক-পরিবাহিতার কোনো পরিবর্তন হয় না।



চিত্র 4.12

সুতরাং এক্ষেত্রে তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতা = 100 × আপেক্ষিক পরিবাহিতা

অর্থাৎ $\Lambda = \kappa \times V$

যেখানে V = সেমি^{3}-এ দ্রবণের আয়তন যার মধ্যে 1 গ্রাম-তুল্যাঙ্ক তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য দ্রবীভূত আছে।

এখন, গ্রাম-তুল্যাঙ্ক/ লিটারে দ্রবণের গাঢ়ত্ব = c হলে,

c গ্রাম-তুল্যাঙ্ক পরিমাণ তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য দ্রবীভূত আছে 1000 সেমি^{3} দ্রবণে,

$\therefore$ 1 গ্রাম-তুল্যাঙ্ক দ্রবীভূত থাকে $\frac{1000}{c}$ সেমি আয়তনের দ্রবণে।

$\therefore$ $\Lambda = \kappa \times$ সেমি^{3}-এ আয়তন, যার মধ্যে 1 গ্রাম-তুল্যাঙ্ক তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য উপস্থিত থাকে,

$$\text{অর্থাৎ } \Lambda = \frac{\kappa \times 1000}{c} \quad \text{বা, } \Lambda = \frac{k \times 1000}{N} \quad \ldots \quad \ldots \quad (4\cdot12)$$

$$\text{সুতরাং, } \Lambda = \text{ওহম}^{-1}\text{সেমি}^{-1} \times \frac{\text{সেমি}^3}{\text{গ্রাম-তুল্যাঙ্ক}} = \text{ওহম}^{-1}\text{সেমি}^2 \text{ গ্রাম তুল্যাঙ্ক}^{-1} \text{ বা, } \Lambda = S \text{ সেমি}^2 \text{ গ্রাম-তুল্যাঙ্ক}^{-1}$$

● **মোলার পরিবাহিতা—এক গ্রাম মোল পরিমাণ কোনো তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থের দ্রবণে উপস্থিত সবগুলি আয়নের তড়িৎ পরিবহন করার ক্ষমতাকে ওই পদার্থের মোলার পরিবাহিতা বলে।** মোলার পরিবাহিতাকে Λ_m অক্ষর দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

অথবা, এক গ্রাম মোল পরিমাণ কোনো নির্দিষ্ট তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য যে দ্রবণে দ্রবীভূত আছে, সেই দ্রবণটিকে, পরস্পর থেকে এক সেমি দূরত্বে থাকা 1 সেমি^{2} ক্ষেত্রফল বিশিষ্ট দুটি সমতলীয় সমান্তরাল তড়িদ্দ্বারের মাঝে রাখলে দ্রবণটির পরিবাহিতার মানকে, ওই তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থটির মোলার পরিবাহিতা বলে।

$$\boxed{\Lambda_m = \frac{\kappa \times 1000}{M}} \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.13)$$

M = মোল প্রতি লিটারে প্রকাশিত গাঢ়ত্ব। মোলার পরিবাহিতার একক হল ওহম$^{-1}$ সেমি^{2} মোল$^{-1}$ বা S সেমি^{2} মোল$^{-1}$

● **সেলধ্রুবক :** আমরা জানি, আপেক্ষিক-পরিবাহিতা κ, আপেক্ষিকরোধ বা রোধাঙ্কের (ρ) অন্যোন্যক, অর্থাৎ $\kappa = \frac{1}{\rho}$, আবার $\rho = \frac{R \times A}{L}$, যেখানে R = পরিবাহীর রোধ, A = পরিবাহীর প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল এবং L = পরিবাহীর দৈর্ঘ্য

$$\therefore\ \kappa = \frac{1}{R}\left(\frac{L}{A}\right) \qquad \text{বা, } \kappa = C\left(\frac{L}{A}\right)$$

যেখানে C = সেলের পরিবাহিতা, L = দুটি ইলেকট্রোডের মাঝের দূরত্ব যার প্রতিটির প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল = A.

এই অবস্থায় L/A-কে **সেল ধ্রুবক** বলা হয়। $k = \frac{1}{R}\left(\frac{L}{A}\right)$ এখানে = $\frac{1}{R}$ সেলের পরিবাহিতা C,

সুতরাং $k = C \times$ সেল ধ্রুবক

বা, $\boxed{\text{আপেক্ষিক পরিবাহিতা} = \text{পরিবাহিতা} \times \text{সেল ধ্রুবক}}$

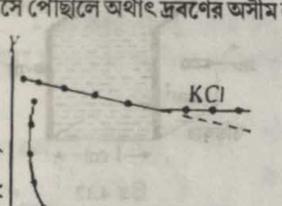
আবার $\kappa = \frac{1}{R}\left(\frac{L}{A}\right)$ বা, $\kappa = \frac{\text{সেল ধ্রুবক}}{R}$ বা, $\boxed{\text{সেল ধ্রুবক} = \kappa \times R}$ ... ... (4·14)

আবার সেল ধ্রুবক = L/A = দৈর্ঘ্য/প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল = সেমি/সেমি^{2} = সেমি$^{-1}$ $\therefore$ **সেল ধ্রুবকের একক = সেমি$^{-1}$**

● **দ্রবণের গাঢ়ত্বের পরিবর্তনের সঙ্গে তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতার পরিবর্তন**—ঘটনাটি টেবিলে প্রদত্ত কতকগুলি তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যের বিভিন্ন গাঢ়ত্বে ওদের তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতার মান লক্ষ করলে বোঝা যায়—

গাঢ়ত্ব	HCl	NaCl	CH_3COOH	NH_4OH
0·1 N	391·32	306·7	5·2	3·00
0·05 N	399·09	111·86	7·2	11·3
0·02 N	407·24	115·7	11·6	34·0
0·005 N	415·8	120·6	22·8	
0·0005 N	422·7	124·6	48·6	

টেবিলে দেখা যায়—(1) তীব্র তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যগুলির Λ-এর মান মৃদু তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যের Λ-এর মানের চেয়ে অনেক বেশি। (2) দ্রবণের লঘুতা বৃদ্ধি করলে তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থের তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতা ক্রমে বৃদ্ধি পায়। (3) মৃদু তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থের তুলনায় তীব্র তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থের তুল্যাঙ্ক-পরিবাহিতার বৃদ্ধি অপেক্ষাকৃত কম হয়। তীব্র তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য KCl এবং মৃদু তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য CH_3COOH এর ক্ষেত্রে Λ vs $\sqrt{c}$ লেখচিত্র দেখানো হল। এই লেখ থেকে প্রকাশ পায় যে **তীব্র তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যের ক্ষেত্রে** দেখা যায় যে **দ্রবণের লঘুতা শূন্যে এসে পৌঁছালে অর্থাৎ দ্রবণের অসীম লঘুতায় তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতা একটি স্থির মানে এসে পৌঁছায়।** তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতার এই চরম



মানকে অসীম লঘুতায় তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতা বলে। একে Λ° চিহ্ন দ্বারা প্রকাশ করা হয়। কিন্তু মৃদু তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যের ক্ষেত্রে যেমন, CH_3COOH এর ক্ষেত্রে দেখা যায়, লঘুতা শূন্যের দিকে এগোবার সাথে সাথে লেখটি Y অক্ষকে ছেদ না করে Y অক্ষের সঙ্গে প্রায় সমান্তরাল হয়ে যায়—লেখ থেকে অসীম লঘুতায় মৃদু তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যের তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতার মান নির্ণয় করা যায় না। তবে পরোক্ষভাবে **কোলরাউসের সূত্রের** সাহায্যে এর মান নির্ণয় করা যায়। মৃদু তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যের ক্ষেত্রে, দ্রবণের আয়নীভবনের মাত্রা দ্রবণে উপস্থিত আয়নের সংখ্যার উপর নির্ভর করে। দ্রবণটির লঘুতা যত বাড়তে থাকে, দ্রবণে আয়নের সংখ্যাও তত বাড়তে থাকে। তাই লঘুতার মাত্রা বৃদ্ধি করলে মৃদু তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যের আয়নীভবনের মাত্রা বেড়ে যায়, ফলে তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতাও বেড়ে যায়। সুতরাং তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতার মান সর্বোচ্চ মানে পৌঁছালে দ্রবণটির আয়নীভবন মাত্রা এককের দিকে এগোয় অর্থাৎ অসীম লঘু দ্রবণে তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থটির সবগুলি অণু বিয়োজিত হয়ে আয়নে পরিণত হয়। সুতরাং অপর কোনো গাঢ়ত্বে যখন তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতা = Λ এবং অসীম লঘু দ্রবণে তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতা = Λ° হলে, আয়নীভবন মাত্রা বা বিয়োজন মাত্রা—

$$\alpha = \frac{\Lambda}{\Lambda^\circ} = \frac{\text{প্রদত্ত গাঢ়ত্বে তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতা}}{\text{অসীম লঘুতায় তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতা}}$$

তীব্র তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যের দ্রবণ আয়নের সংখ্যা প্রায় একই থাকে কারণ তীব্র তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য প্রায় সম্পূর্ণ আয়নিত হয়, তবে গাঢ় দ্রবণের ঘনত্ব বেশি হওয়ার জন্য আন্তঃআয়নীয় আকর্ষণ বেশি হয়, যার ফলে আয়নের গতি কমে যায় এবং এজন্য Λ°-এর মান কমে যায়।

লঘুতার বৃদ্ধিতে আন্তঃআয়নীয় আকর্ষণ কমে যায়, ফলে Λ°-এর মান বেড়ে যায়। Λ-এবং Λ°-র মধ্যে সম্পর্ক $\Lambda = \Lambda^\circ - b\sqrt{c}$ - সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়। যেখানে, Λ = তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতা, Λ° = অসীম লঘু দ্রবণের তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতা, b = ধ্রুবক, c = দ্রবণের গাঢ়ত্ব। Λ-এর মান যত Λ° দিকে এগোতে থাকে c-এর মানও তত শূন্যের দিকে এগোতে থাকে।

4.20. আয়নীয় পরিবাহিতা [Ionic conductance]

এখন অসীম লঘুতায় λ_c = ক্যাটায়নের আয়নীয় তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতা এবং λ_a = অ্যানায়নের আয়নীয় তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতা হলে, অসীম লঘুতায় তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পরিবাহীর তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতা, λ_c এবং λ_a-এর মান আয়নের গতিবেগের সমানুপাতিক হবে। এরপর থেকে আয়নীয় তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতাকে সংক্ষেপে আয়নীয় পরিবাহিতা রূপে লেখা হল।

$\therefore\ \lambda_c \propto u$ এবং $\lambda_a \propto v$ যেখানে u = ক্যাটায়নের গতিবেগ, λ_c = ক্যাটায়নের আয়নীয় পরিবাহিতা, v = অ্যানায়নের গতিবেগ, λ_a = অ্যানায়নের আয়নীয় পরিবাহিতা।

পরিবহনাঙ্ক বা ট্রান্সপোর্ট সংখ্যা—কোনো তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যের দ্রবণে, ক্যাটায়ন এবং অ্যানায়নের গতিবেগ অসমান হওয়ার জন্য, মোট তড়িৎপ্রবাহের সমান অংশ ওরা বহন করে না।

কোনো নির্দিষ্ট জাতীয় আয়ন, মোট তড়িৎপ্রবাহের যে অংশ বহন করে, তাকে ওই আয়নের পরিবহনাঙ্ক বা ট্রান্সপোর্ট সংখ্যা বলে।

সুতরাং যেকোনো আয়নের পরিবহনাঙ্ক ওর গতিবেগের সমানুপাতিক হবে। ক্যাটায়নের পরিবহনাঙ্ক এবং গতিবেগ যথাক্রমে t_+ এবং u হলে, অ্যানায়নের পরিবহনাঙ্ক ও বেগ যথাক্রমে t_- এবং v হলে, $t_+ \propto u$ এবং $t_- \propto v$ হবে।

ক্যাটায়নের পরিবহনাঙ্ক $t_+ = \frac{u}{u+v} = \frac{\lambda_c}{\lambda_c+\lambda_a} = \frac{\lambda_c}{\Lambda^\circ}$; অ্যানায়নের পরিবহনাঙ্ক $t_- = \frac{v}{u+v} = \frac{\lambda_a}{\lambda_c+\lambda_a} = \frac{\lambda_a}{\Lambda^\circ}$

$\therefore$ ক্যাটায়নের আয়নীয় পরিবাহিতা $\lambda_c = t_+ \times \Lambda^\circ$; অ্যানায়নের আয়নীয় পরিবাহিতা $\lambda_a = t_- \times \Lambda^\circ$

অর্থাৎ অসীম লঘু দ্রবণে, নির্দিষ্ট ধরনের আয়নীয় পরিবাহিতা = ওর পরিবহনাঙ্ক × তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতা হবে।

4.21. কোলরাউসের সূত্র [Kohlrausch's law]

কোলরাউস কতকগুলি তীব্র তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থের তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতা নির্ণয় করার সময় লক্ষ করেন যে পদার্থগুলির অসীম লঘু দ্রবণে এবং নির্দিষ্ট উষ্ণতা ও নির্দিষ্ট দ্রাবকের ক্ষেত্রে, একই সাধারণ আয়ন বিশিষ্ট একজোড়া লবণের তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতার মানের পার্থক্য সর্বদা একই থাকে। তার পর্যবেক্ষণের সত্যতা নীচের টেবিলে প্রদত্ত লবণগুলির তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতার মানগুলি লক্ষ করলেই জানা যায়।

তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য	25°C-এ Λ°	পার্থক্য	তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য	25°C-এ Λ°	পার্থক্য
KCl	149·9	34·9	KOH	271·5	34·8
LiCl	115·0		LiOH	236·7	
KNO_3	145·0	34·9	$KClO_4$	140·0	34·9
$LiNO_3$	110·01		$LiClO_4$	165·08	

একই অ্যাসিড মূলক যুক্ত K এবং Li এর সব লবণের অসীম লঘু দ্রবণের ক্ষেত্রে তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতার এই স্থির পার্থক্য (34·9) সর্বদা লক্ষ করা যায়।

যেহেতু এক জাতীয় অ্যানায়নগুলির তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতা সমান, সুতরাং এই ফল দেখে সিদ্ধান্ত করা যায় যে ক্যাটায়ন K^+ এর তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতা $\Lambda^\circ_{K^+}$ ক্যাটায়ন Li^+ এর তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতা $\Lambda^\circ_{Li^+}$-এর চেয়ে 34·9 বেশি। এর থেকে তিনি সিদ্ধান্ত করেন কোনো তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থ যদি সম্পূর্ণ আয়নিত অবস্থায় থাকে, দ্রবণটি যদি এত লঘুমাত্রার হয় যে আন্তঃ-আয়নীয় আকর্ষণ বল প্রায় নগণ্য হয়, তাহলে—

এক গ্রাম-তুল্যাঙ্ক তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থ মোট যে পরিমাণ তড়িৎ বহন করবে, তা ক্যাটায়ন এবং অ্যানায়নগুলি দ্বারা পরিবাহিত তড়িৎ পরিমাণের যোগফলের সমান হবে এবং একটি নির্দিষ্ট ধরনের আয়ন যে পরিমাণ তড়িৎ বহন করে, তা অপর কোনো ধরনের আয়নের অস্তিত্ব বা দ্রবণের লঘুতার মাত্রার উপর নির্ভর করে না। অসীম লঘু দ্রবণে আয়নের স্বাধীনভাবে বিচরণ করার সম্পর্কে কোলরাউসের সূত্রটিকে এইভাবে প্রকাশ করা যায়—

- **নির্দিষ্ট উষ্ণতায় অসীম লঘু দ্রবণে, কোনো তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থের তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতার মান, তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যটির সংগঠক আয়নগুলির আয়নীয় পরিবাহিতার যোগফলের সমান হবে।**

অর্থাৎ নির্দিষ্ট উষ্ণতায়, অসীম লঘুদ্রবণে, কোনো তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থের তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতা = Λ° হলে, ক্যাটায়ন এবং অ্যানায়নের আয়নীয় পরিবাহিতা যথাক্রমে λ_c ও λ_a হলে, $\Lambda^\circ = \lambda_c + \lambda_a$ হবে। যেমন, NaCl-এর এক ফর্মুলা একক দ্রবণে 1টি Na^+ এবং 1টি Cl^- দেয়, সুতরাং $\Lambda^\circ_{NaCl} = \lambda_{Na^+} + \lambda_{Cl^-}$ হবে। Na_2SO_4-এর এক ফর্মুলা একক 2টি Na^+ এবং 1টি SO_4^{2-} দেয়, সুতরাং $\Lambda^\circ_{Na_2SO_4} = \lambda_{Na^+} + \frac{1}{2}\lambda_{SO_4^{2-}}$ হবে।

● **গাণিতিক উদাহরণ** (Numerical Problem) ঃ

(1) 1(M) H_2SO_4 দ্রবণের আপেক্ষিক পরিবাহিতা 16×10^{-2} ওহম$^{-1}$ সেমি$^{-1}$ হলে দ্রবণটির তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতা নির্ণয় করো।

Ans. আপেক্ষিক পরিবাহিতা $\kappa = 16 \times 10^{-2}$ ওহম$^{-1}$ সেমি$^{-1}$, গাঢ়ত্ব = 1(M) H_2SO_4 = 98 গ্রাম/লিটার।

H_2SO_4-এর তুল্যাঙ্কভার = 98/2 = 49, এবং গ্রাম তুল্যাঙ্ক/লিটার = 98/49 = 2 = c (গাঢ়ত্ব)

তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতা $\Lambda = \frac{\kappa \times 1000}{c} = \frac{16 \times 10^{-2} \times 1000}{2} = 80$ ওহম$^{-1}$ সেমি^{2} গ্রাম তুল্যাঙ্ক$^{-1}$

(2) 298K উষ্ণতায়, সোডিয়াম অ্যাসিটেট, হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড এবং সোডিয়াম ক্লোরাইডের অসীম লঘু দ্রবণে, মোলার পরিবাহিতা যথাক্রমে 90, 426 এবং 126·5 ওহম$^{-1}$ সেমি^{2} মোল$^{-1}$। অ্যাসেটিক অ্যাসিডের অসীম লঘু দ্রবণে মোলার পরিবাহিতা কত?

Ans. অসীম লঘু দ্রবণে মোলার পরিবাহিতা Λ°_m হলে, $\Lambda^\circ_{m\,CH_3COOH} = \Lambda^\circ_{m\,CH_3COONa} + \Lambda^\circ_{m\,HCl} - \Lambda^\circ_{m\,NaCl}$ ... (i)

দেওয়া আছে $\Lambda^\circ_{m\,CH_3COONa} = 90$ ওহম$^{-1}$ সেমি^{2} মোল$^{-1}$

$\Lambda^o_{m\,HCl} = 426$ ওহম$^{-1}$ সেমি^{2} মোল$^{-1}$, $\Lambda^o_{m\,NaCl} = 126·5$ ওহম$^{-1}$ সেমি^{2} মোল$^{-1}$

মানগুলি (1) নং সমীকরণে বসিয়ে, $\Lambda^\circ_{m\,CH_3COOH} = 90 + 426 - 126·5 =$ **389·5 ওহম$^{-1}$ সেমি^{2} মোল$^{-1}$**

(3) অসীম লঘু দ্রবণে $MgCl_2$-এর মোলার পরিবাহিতা নির্ণয় করো। দেওয়া আছে মোলার আয়নীয় পরিবাহিতা $\lambda_{Mg^{2+}} = 106$ ওহম$^{-1}$ সেমি^{2} মোল$^{-1}$ এবং $\lambda_{Cl^-} = 76$, ওহম$^{-1}$ সেমি^{2} মোল$^{-1}$।

Ans. কোলরাউসের সূত্রানুযায়ী, $\Lambda^o_m(MgCl_2) = \lambda^\circ_{Mg^{2+}} + 2\lambda^\circ_{Cl^-}$ প্রদত্ত মানগুলি বসিয়ে, $\Lambda^0_m(MgCl_2) = 106 + 2 \times 76$ **= 258 ওহম$^{-1}$ সেমি^{2} মোল$^{-1}$**

(4) 298 K উষ্ণতায় একটি পরিবাহী সেলে 0·05 (M) NaOH দ্রবণের রোধ 31·6 ওহম। সেল ধ্রুবক 0·367 সেমি$^{-1}$ হলে, NaOH দ্রবণটির মোলার পরিবাহিতা নির্ণয় করো।

Ans. সেল ধ্রুবক = 0·367 সেমি$^{-1}$, রোধ R = 31·6 ওহম, $\therefore$ পরিবাহিতা $= \frac{1}{R} = \frac{1}{31·6}$ ওহম$^{-1}$

আপেক্ষিক পরিবাহিতা κ = পরিবাহিতা × সেল ধ্রুবক = $\frac{1}{31·6} \times 0·367 = 0·0116$ ওহম$^{-1}$ সেমি$^{-1}$

মোলার পরিবাহিতা $\Lambda_m = \frac{\kappa \times 1000}{C} = \frac{0·0116 \times 1000}{0·05} =$ **232 ওহম$^{-1}$** সেমি^{2} মোল$^{-1}$

(5) একটি পরিবাহী সেলে 0·02M KCl দ্রবণ ভর্তি করা হল যার আপেক্ষিক পরিবাহিতা $2·768 \times 10^{-1}$. 25°C উষ্ণতায় এর রোধ 82·4 ওহম। যখন সেলটি 0·005N K_2SO_4 দ্রবণ দ্বারা ভর্তি করা হয়, ওর রোধ হয় 310 ওহম। সেল ধ্রুবক এবং K_2SO_4 দ্রবণের আপেক্ষিক পরিবাহিতা নির্ণয় করো।

Ans. আমরা জানি সেল ধ্রুবক = আপেক্ষিক পরিবাহিতা × রোধ = $2·768 \times 10^{-1} \times 82·4 = 0·228$ সেমি$^{-1}$

K_2SO_4-এর আপেক্ষিক পরিবাহিতা = $\frac{\text{সেল ধ্রুবক}}{\text{রোধ}} = \frac{0·228 \text{ সেমি}^{-1}}{310 \text{ ওহম}} =$ **$7·356 \times 10^{-4}$ ওহম$^{-1}$ সেমি$^{-1}$**

(6) 25°C উষ্ণতায় $BaSO_4$ এর সম্পৃক্ত দ্রবণের আপেক্ষিক পরিবাহিতা $3·65 \times 10^{-6}$ ohm^{-1} cm^{-1}. দ্রবণ প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত জলের আপেক্ষিক পরিবাহিতা $1·25 \times 10^{-6}$ ohm^{-1} cm^{-1}. $BaCl_2$, K_2SO_4 এবং KCl এর অসীম লঘু দ্রবণের তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতা যথাক্রমে 120·3, 132·3 এবং 129·6 হয় (25°C উষ্ণতায়), 25°C উষ্ণতায় দ্রবণে $BaSO_4$-এর গ্রাম-তুল্যাঙ্ক নির্ণয় করো।

Ans. কোলরাউসের সূত্র থেকে আমরা লিখতে পারি

$\lambda^\circ_{Ba^{++}} + \lambda^\circ_{SO_4^=} = \Lambda^\circ_{BaSO_4}$, $\quad \lambda^c_{\frac{1}{2}Ba^{++}} + \lambda^c_{Cl^-} = 120·3$

$\lambda^0_{K^+} + \lambda^0_{\frac{1}{2}SO_4^=} = 132·3$, $\quad \lambda^0_{K^+} + \lambda^0_{Cl^-} = 129·6$

$\therefore \lambda^0_{\frac{1}{2}Ba^{++}} + \lambda^0_{\frac{1}{2}SO_4^=} = 120·3 + 132·3 - 129·6 = 123$ অর্থাৎ $\Lambda^0_{BaSO_4} = 123$

এখন $K_{BaSO_4} = K_{soln} + K_{water} = 3.65 \times 10^{-6} + 1.25 \times 10^{-6} = 2.4 \times 10^{-6}$ ohm^{-1} cm^{-1}

$BaSO_4$-এর অসীম লঘু দ্রবণে তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতা $\Lambda^\circ = \frac{1000K}{c}$ বা, $c = \frac{1000K}{\Lambda^\circ}$

$\therefore$ গাঢ়ত্ব $c = \frac{1000 \times 2.4 \times 10^{-6}}{123} = \mathbf{195 \times 10^{-5}}$ গ্রাম-তুল্যাঙ্ক/লিটার

4.22. ফ্যারাডের তড়িদ্‌বিশ্লেষণ সূত্র [Faraday's Laws of Electrolysis]

(1) ফ্যারাডের প্রথম সূত্র ঃ কোনো নির্দিষ্ট তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যের তড়িদ্‌বিশ্লেষণের ফলে তড়িদ্দ্বারে মুক্ত বা দ্রবীভূত পদার্থের গ্রামে প্রকাশিত ভর, তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত তড়িৎ-পরিমাণের সমানুপাতিক হয়।

ধরি, কোনো তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থের মধ্য দিয়ে Q কুলম্ব তড়িৎ চালনার ফলে তড়িদ্দ্বারে W গ্রাম পদার্থ উৎপন্ন হয়। অতএব,

প্রথম সূত্র অনুসারে, $W \propto Q$ বা, $W = Z.Q$ (Z একটি নিত্য সংখ্যা), ... (4.15)

বা, $W = Z.c.t$ ... ... (4.16)

c = অ্যাম্পিয়ারে তড়িৎ-প্রবাহ, t = সেকেন্ডে সময়ের পরিমাণ

এই নিত্য সংখ্যা Z-কে **তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক** বলে। Z-এর মান পদার্থের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে।

● **তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের সংজ্ঞা ঃ**

প্রথম সূত্রে $W = Z.Q$—**এই সমীকরণে, Q = এক কুলম্ব হলে $W = Z$ হয়।**

সুতরাং Z হল সেই পরিমাণ পদার্থ (গ্রামে প্রকাশিত) যা এক কুলম্ব তড়িৎ চালনা করলে তড়িদ্দ্বারে উৎপন্ন হয়।

সংজ্ঞা ঃ কোনো তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যের মধ্য দিয়ে এক কুলম্ব তড়িৎ চালনা করলে তড়িদ্দ্বারে যত গ্রাম পদার্থ উৎপন্ন হয়, তাকে ওই পদার্থের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক (electro-chemical equivalent) **বলে।**

যেমন, **সিলভার নাইট্রেটের জলীয় দ্রবণের ভিতর দিয়ে প্লাটিনাম তড়িদ্দ্বারের সাহায্যে এক কুলম্ব তড়িৎ চালনা করলে ক্যাথোডে 0.001118 গ্রাম সিলভার মুক্ত হয়, সুতরাং সিলভারের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক 0.001118 গ্রাম/কুলম্ব।**

● **তড়িদ্দ্বারে মুক্ত পদার্থের ভর এবং তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের সম্পর্ক ঃ** একই পরিমাণ তড়িৎ বিভিন্ন তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থের মধ্য দিয়ে চালনা করলে তড়িদ্দ্বারে বিভিন্ন পরিমাণ পদার্থ মুক্ত হবে। ধরি, Q কুলম্ব তড়িৎ চালনার ফলে একটি পদার্থের W_1 গ্রাম এবং অন্য আর একটি পদার্থের W_2 গ্রাম তড়িদ্দ্বারে মুক্ত হল। প্রথম পদার্থটির তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক যদি Z_1 এবং দ্বিতীয়টির যদি Z_2 হয়, তবে প্রথম সূত্রানুযায়ী—

$W_1 = Z_1.Q$ ..... (i) এবং $W_2 = Z_2.Q$ ..... (ii)

(i) এবং (ii) থেকে পাই $\frac{W_1}{W_2} = \frac{Z_1}{Z_2}$ অর্থাৎ, $W \propto Z$;

অর্থাৎ, তড়িদ্দ্বারে মুক্ত পদার্থের ভর তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের সমানুপাতিক হয়।

(2) ফ্যারাডের দ্বিতীয় সূত্র ঃ বিভিন্ন তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যের মধ্য দিয়ে একই পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহ করলে, ভিন্ন ভিন্ন তড়িদ্দ্বারে যে সব বিভিন্ন আয়ন মুক্ত হয়, তাদের গ্রামে প্রকাশিত ভর, আয়নগুলির নিজ নিজ রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের সমানুপাতিক হয়।

ধরা যাক, Q কুলম্ব তড়িৎ চালনার ফলে একটি পদার্থের W_1 গ্রাম এবং অন্য আর একটি পদার্থের W_2 গ্রাম পদার্থ তড়িদ্দ্বারে সঞ্চিত হয়। প্রথম পদার্থটির রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক = E_1 এবং দ্বিতীয়টির রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক = E_2 হলে

দ্বিতীয় সূত্রানুযায়ী, $\frac{W_1}{W_2} = \frac{E_1}{E_2}$ অর্থাৎ, $W \propto E$

● **তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক এবং রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের সম্পর্ক ঃ** যদি দুটি বিভিন্ন তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থের মধ্য দিয়ে Q কুলম্ব তড়িৎ চালনার ফলে দুটি পদার্থের যথাক্রমে W_1 গ্রাম এবং W_2 গ্রাম তড়িদ্দ্বারে মুক্ত হয় এবং পদার্থ দুটির তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক যথাক্রমে Z_1 এবং Z_2, রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক যথাক্রমে E_1 এবং E_2 হলে, ফ্যারাডের প্রথম সূত্র থেকে পাওয়া যায় $\frac{W_1}{W_2} = \frac{Z_1}{Z_2}$ .... (i) দ্বিতীয় সূত্র থেকে পাই $\frac{W_1}{W_2} = \frac{E_1}{E_2}$ .... (ii),

(i) এবং (ii) থেকে পাই $\boxed{\frac{W_1}{W_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{Z_1}{Z_2}}$ বা, $\frac{E_1}{E_2} = \frac{Z_1}{Z_2}$ অর্থাৎ $\boxed{E \propto Z}$

অর্থাৎ কোনো মৌলের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক ওর তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের সমানুপাতিক।

● **ফ্যারাডের প্রথম ও দ্বিতীয় সূত্রের সমন্বয়** — ধরি, কোনো পদার্থের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক = E, Q কুলম্ব তড়িৎ চালনার ফলে পদার্থটির W গ্রাম তড়িদ্দ্বারে সঞ্চিত হয়। পদার্থটির তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক = Z
প্রথম সূত্র থেকে পাই, $W \propto Q$ যখন E স্থির, দ্বিতীয় সূত্র থেকে পাই, $W \propto E$ যখন Q স্থির
বা, $W \propto QE$ যখন Q এবং E উভয়ই পরিবর্তনশীল, বা, $W = KQE$ (K ধ্রুবক)
পরীক্ষা করে দেখা গেছে $K = \frac{1}{F}$ (F = 1 ফ্যারাডে = 96496 কুলম্ব) $\therefore \quad W = \frac{QE}{F}$ ... ... (4.17)
এখন কুলম্ব Q = অ্যাম্পিয়ার $(c) \times$ সময় (t) সেকেন্ড অর্থাৎ $Q = c \times t \quad \therefore \quad W = \frac{Ect}{F}$ ... ... (4.18)

এই সমীকরণটিকে ফ্যারাডের প্রথম ও দ্বিতীয় সূত্রের মিলিত গাণিতিক রূপ বলা হয়।

এখন $F = 96500$ কুলম্ব হলে $\boxed{W = \frac{Ect}{96500}}$ ... ... (4.19)

● **ফ্যারাডে (F)—বিভিন্ন পদার্থ গ্রাম-তুল্যাঙ্কের অনুপাতে তড়িদ্দ্বারে সঞ্চিত হওয়ার কারণ ঃ** যেহেতু তড়িদ্‌বিশ্লেষণে তড়িদ্দ্বারে মুক্ত পদার্থের পরিমাণ রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের সমানুপাতিক, এর থেকে বোঝা যায় যে, তড়িৎ বিশ্লেষণ দ্বারা এক গ্রাম-তুল্যাঙ্ক পরিমাণ পদার্থ উৎপন্ন করতে একই পরিমাণ তড়িতের প্রয়োজন হবে।

সংজ্ঞা ঃ তড়িদ্‌বিশ্লেষণ দ্বারা কোনো মৌলের এক গ্রাম-তুল্যাঙ্ক পদার্থকে তড়িদ্দ্বারে মুক্ত করতে যে পরিমাণ তড়িতের প্রয়োজন হয়, সেই পরিমাণ তড়িৎকে এক ফ্যারাডে বলে। ফ্যারাডেকে F চিহ্ন দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

1 ফ্যারাডে = 96496 কুলম্ব = 96496 অ্যাম্পিয়ার/সেকেন্ড

এখন, যেহেতু 1F পরিমাণ তড়িৎ এক গ্রাম-তুল্যাঙ্ক পদার্থ তড়িদ্দ্বারে উৎপন্ন করে, সুতরাং তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের সংজ্ঞা থেকে বলা যায় যে, তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক (Z) = $\frac{\text{রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক}}{\text{F}} = \frac{\text{রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক}}{96500}$

তড়িদ্‌বিশ্লেষণে বিভিন্ন পদার্থ গ্রাম-পারমাণবিক ওজনের অনুপাতে না হয়ে গ্রাম-তুল্যাঙ্কের অনুপাতে তড়িদ্দ্বারে জমা হওয়ার কারণ হল, বিভিন্ন পদার্থের আয়নে বিভিন্ন চার্জ বর্তমান থাকে।

(i) একযোজী আয়নের ক্ষেত্রে ঃ একযোজী যে কোনো আয়নের এক গ্রাম-আয়নের মধ্যে $6{\cdot}023 \times 10^{23}$ (অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা) সংখ্যক আয়ন থাকে। একটি একযোজী আয়নের ক্ষেত্রে (H^+, Ag^+ বা Na^+) আয়নটিকে নিস্তড়িত পরমাণুতে পরিণত করতে মাত্র একটি ইলেকট্রনের প্রয়োজন হয়। তাহলে **একযোজী আয়নের এক গ্রাম আয়নকে, এক গ্রাম-পরমাণু বা এক গ্রাম-তুল্যাঙ্ক পরমাণুতে পরিণত করতে $6{\cdot}023 \times 10^{23}$ সংখ্যক ইলেকট্রন অর্থাৎ 1 ফ্যারাডে তড়িতের প্রয়োজন হবে।**

[$6{\cdot}023 \times 10^{23}$ সংখ্যক ইলেকট্রনের মধ্যে তড়িতের পরিমাণ = 1 ফ্যারাডে বা 96496 কুলম্ব বা 96500 কুলম্ব]।

(ii) দ্বিযোজী আয়নের ক্ষেত্রে (Cu^{++}, Ca^{++} বা Mg^{++}) ঃ যেহেতু একটি Cu^{++} আয়নকে নিস্তড়িত Cu পরমাণুতে পরিণত করতে 2টি ইলেকট্রনের দরকার, সেইজন্য ওই একই সংখ্যক ইলেকট্রন **($6{\cdot}023 \times 10^{23}$) দ্বারা দ্বিযোজী আয়নের এক গ্রাম আয়নের মাত্র অর্ধেক পরিমাণকে অর্থাৎ এক গ্রাম-তুল্যাঙ্ক পদার্থকে নিস্তড়িত পরমাণুতে পরিণত করবে। দ্বিযোজী আয়নের 1/2 গ্রাম আয়ন = এক গ্রাম তুল্যাঙ্ক পদার্থ তড়িদ্দ্বারে মুক্ত হবে।**

(iii) ত্রিযোজী আয়নের ক্ষেত্রে ঃ 1 ফ্যারাডে অর্থাৎ $6{\cdot}023 \times 10^{23}$ সংখ্যক ইলেকট্রন দ্বারা ত্রিযোজী আয়ন, যেমন, Al^{3+} আয়নের 1/3 গ্রাম-আয়ন **অর্থাৎ 1 গ্রাম-তুল্যাঙ্ক Al^{3+} আয়ন নিস্তড়িত Al পরমাণুতে পরিণত হবে।** নেগেটিভ আয়নগুলির ক্ষেত্রেও একই যুক্তি প্রযোজ্য।

4.23. ফ্যারাডে, অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা এবং ইলেকট্রনের চার্জের মধ্যে সম্পর্ক [Relation between Faraday, Avogadro's number and the charge of an electron]

গ্রাম-আয়ন ঃ পরমাণু বা মূলক ইলেকট্রন গ্রহণ অথবা বর্জন করে আয়নে পরিণত হয়। এখন ইলেকট্রনের ভর নগণ্য, তাই পরমাণু বা মূলকের ভরই হল আয়নের ভর। আয়নের ফর্মুলা ওজনকে গ্রামে প্রকাশ করলে, তাকে গ্রাম-আয়ন বলে। যেমন এক গ্রাম-আয়ন কার্বনেট CO_3^{2-} বলতে $12 + 3 \times 16 = 60$ g পরিমাণ CO_3^{2-} আয়ন বোঝায়।

এক গ্রাম-আয়নে, আয়নের সংখ্যা = অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা $(N) = 6{\cdot}023 \times 10^{23}$

গ্রাম-আয়নকে ওর যোজ্যতা দিয়ে ভাগ করলে আয়নের গ্রাম-তুল্যাঙ্ক পাওয়া যায়। যেমন CO_3^{2-} এর গ্রাম-তুল্যাঙ্ক = 60/2 = 30 গ্রাম।

তড়িদ্‌বিশ্লেষণ সূত্র থেকে, ফ্যারাডে (F), অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা (N) এবং একটি ইলেকট্রনের চার্জ (e)-এর মধ্যে একটি সম্পর্ক নির্ণয় করা যায়। আমরা জানি, 1 ফ্যারাডে তড়িৎ (96500 কুলম্ব) কোনো তড়িৎবিশ্লেষ্যের মধ্যে চালনা করলে এক গ্রাম-তুল্যাঙ্ক আয়ন তড়িদ্দ্বারে মুক্ত হয়, সুতরাং বলা যায়, এক গ্রাম-তুল্যাঙ্ক আয়নের চার্জ = এক ফ্যারাডে (F)

এখন 1 গ্রাম-আয়ন = 1 গ্রাম-তুল্যাঙ্ক আয়ন × যোজ্যতা

∴ 1 গ্রাম-আয়নের চার্জ = 1 গ্রাম-তুল্যাঙ্ক আয়নের চার্জ × যোজ্যতা কিন্তু 1 গ্রাম-তুল্যাঙ্ক আয়নের চার্জ = 1 F

∴ 1 গ্রাম-আয়নের চার্জ = 1 ফ্যারাডে × যোজ্যতা,

এখন একটি আয়নের যোজ্যতা = n হলে, n যোজ্যতাসম্পন্ন 1 গ্রাম-আয়নের চার্জ = $F \times n$

আবার 1 গ্রাম-আয়নের মধ্যে আয়নের সংখ্যা $N = 6{\cdot}023 \times 10^{23}$ সংখ্যক আয়ন।

∴ বলা যায় N সংখ্যক আয়নের চার্জ = $F \times n$ অর্থাৎ n যোজ্যতা সম্পন্ন N সংখ্যক আয়নের চার্জ = nF

∴ n যোজ্যতা সম্পন্ন 1টি আয়নের চার্জ = $n\left(\frac{F}{N}\right)$

1 যোজ্যতা সম্পন্ন 1টি আয়নের চার্জ = $1 \times \left(\frac{F}{N}\right) = \frac{F}{N}$

2 যোজ্যতা সম্পন্ন 1টি আয়নের চার্জ = $2 \times \left(\frac{F}{N}\right) = \frac{2F}{N}$

3 যোজ্যতা সম্পন্ন 1টি আয়নের চার্জ = $3 \times \left(\frac{F}{N}\right) = \frac{3F}{N}$

দেখা গেল, **যেকোনো রকম একটি আয়নের চার্জ = (F/N)-এর পূর্ণ সংখ্যার সরল গুণিতক হবে। সুতরাং (F/N) হল চার্জের ক্ষুদ্রতম পরিমাণ।**

4.24. একটি ইলেকট্রনের চার্জ $e = F/N$ [Charge of one electron $e = F/N$]

একটি একযোজী আয়নের 1 গ্রাম-তুল্যাঙ্ক আয়নের চার্জ $=1\ F = 96500$ কুলম্ব। আবার 1টি একযোজী ক্যাটায়ন ক্যাথোডে 1টি ইলেকট্রন গ্রহণ করে তড়িৎ মুক্ত হয় এবং 1টি একযোজী অ্যানায়ন অ্যানোডে 1টি ইলেকট্রন বর্জন করে নিস্তড়িৎ হয়। একযোজী আয়নের 1 গ্রাম-আয়ন পরিমাণের মধ্যে আয়নের সংখ্যা N। এখন 1টি ইলেকট্রনের চার্জ e ধরলে,

1 গ্রাম-আয়ন পরিমাণ একযোজী আয়নের চার্জ = $e \times N = F$ ... ... (4.21)

∴ 1টি ইলেকট্রনের চার্জ $e = \frac{F}{N}$ সমীকরণটিতে $F = 96500$ কুলম্ব এবং $N = 6{\cdot}023 \times 10^{23}$ বসিয়ে পাই,

$$e = \frac{96500}{6{\cdot}023 \times 10^{23}} = 1{\cdot}603 \times 10^{-19} \text{ কুলম্ব।}$$

● **তড়িতের প্রকৃতিও পারমাণবিক কেন?** পরমাণু হল কোনো পদার্থের সবচেয়ে ক্ষুদ্রতম অবিভাজ্য কণা—পদার্থ গঠনে পরমাণু যেমন প্রাথমিক কণা, ঠিক সেই রকম চার্জের এই ক্ষুদ্রতম রাশি (F/N)-কে তড়িতের **প্রাথমিক একক** বলে গণ্য করা যায়। তাই বলা যেতে পারে যে **পদার্থের মতো তড়িতের প্রকৃতিও পারমাণবিক**। তড়িতের এই ক্ষুদ্রতম একককে এক পরমাণু তড়িৎ বলা যায়।

4.25. তড়িদ্‌বিশ্লেষণের ব্যবহারিক প্রয়োগ [Application of electrolysis]

(1) তড়িৎ লেপন (Electroplating) ঃ তামা, লোহা, অ্যালুমিনিয়াম প্রভৃতি ধাতুর তৈরি দ্রবণকে জল বায়ুর প্রকোপ থেকে রক্ষা করার জন্য ওই সব দ্রব্যের উপর তড়িৎ বিশ্লেষণ প্রক্রিয়ায়, সিলভার, নিকেল, গোল্ড, ক্রোমিয়াম ইত্যাদি ধাতুর প্রলেপ দেওয়া হয়। এই পদ্ধতিকে তড়িৎ লেপন (Electroplating) বলে।

(2) ধাতুনিষ্কাশন ঃ তীব্র তড়িৎ ধনাত্মক ধাতুগুলিকে কার্বন-বিজারণ বা স্বতঃবিজারণ পদ্ধতি দ্বারা নিষ্কাশন করা যায় না। ধাতুগুলির ক্লোরাইড বা হাইড্রক্সাইডের গলিত অবস্থায় তড়িৎ-বিশ্লেষণ করলে, ক্যাথোডে ধাতু নিষ্কাশিত হয়। সোডিয়াম, পটাশিয়াম, ক্যালশিয়াম, ম্যাগনেশিয়াম, অ্যালুমিনিয়াম প্রভৃতি ধাতুগুলিকে এই পদ্ধতিতে নিষ্কাশন করা হয়। যেমন লোহার ক্যাথোড এবং গ্রাফাইটের অ্যানোডের মাধ্যমে গলিত NaCl-এর মধ্যে তড়িৎপ্রবাহ করলে ক্যাথোডে Na ধাতু এবং অ্যানোডে

Cl_2 মুক্ত হয়। $NaCl \rightleftharpoons Na^+ + Cl^-$ ক্যাথোডে ঃ $Na^+ + 2e = Na$; অ্যানোডে ঃ $2Cl^- = 2e \rightarrow Cl_2$; অনুরূপে অ্যালুমিনা (Al_2O_3), ক্রায়োলাইট (AlF_3,3NaF), ও CaF_2 -এর গলিত মিশ্রণে গ্রাফাইট ক্যাথোড ও অ্যানোডের মাধ্যমে তড়িৎ প্রবাহ করলে Al ধাতু ক্যাথোডে জমা হয়।

(3) **ধাতু শোধন ঃ** অবিশুদ্ধ ধাতুকে অ্যানোড এবং বিশুদ্ধ ধাতুকে ক্যাথোড রূপে ব্যবহার করে, ওই ধাতুর দ্রাব্য লবণকে তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থরূপে ব্যবহার করে তড়িৎ-চালনা করলে ক্যাথোডে বিশুদ্ধ ধাতু জমা হয়। কপার, জিঙ্ক, অ্যালুমিনিয়াম প্রভৃতি ধাতুর শোধন এই প্রক্রিয়ায় করা হয়। যেমন, H_2SO_4 যুক্ত $CuSO_4$ দ্রবণে অশুদ্ধ Cu ধাতুকে অ্যানোড এবং Al ধাতুর পাতকে, ক্যাথোড রূপে ব্যবহার করে তড়িৎপ্রবাহ করলে ক্যাথোডে 99·9% বিশুদ্ধ Cu পাওয়া যায়।

(4) **রাসায়নিক দ্রব্য প্রস্তুতি ঃ** তড়িদ্‌বিশ্লেষণ প্রক্রিয়া দ্বারা ক্লোরিন, কস্টিক সোডা, সোডিয়াম কার্বনেট, পটাশিয়াম ক্লোরেট প্রভৃতি রাসায়নিক দ্রব্যের পণ্য প্রস্তুতি করা হয়।

(5) **অ্যানোডাইজিং ঃ** কোনো ধাতব বস্তুকে ক্ষয় থেকে রক্ষা করার জন্য, ধাতব বস্তুটিকে অ্যানোড রূপে ব্যবহার করে তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করা হয়। এর ফলে অ্যানোডে উৎপন্ন জায়মান অক্সিজেন ধাতব বস্তুটির উপর অক্সাইডের আস্তরণ সৃষ্টি করে। এই প্রক্রিয়াকে অ্যানোডাইজিং বলে।

(6) **তড়িদ্‌বিশ্লেষণের সাহায্যে তুল্যাঙ্কভার নির্ণয় করা যায়।**

● **তড়িদ্‌বিশ্লেষণ প্রক্রিয়ার কতকগুলি বিশেষ ঘটনা ঃ (i) তড়িদ্‌বিশ্লেষণে ক্যাথোডে বিজারণ এবং অ্যানোডে জারণ ঘটে।** যেমন—

ক্যাথোডে ঃ $Na^+ + e \rightarrow Na$ (বিজারণ); অ্যানোডে ঃ $Cl^- - e \rightarrow Cl$ (জারণ)

(ii) জারণ-বিজারণ বিক্রিয়া শুধু তড়িদ্দ্বারেই ঘটে।

● **গাণিতিক উদাহরণ (Numerical Examples) ঃ**

(1) 2 অ্যাম্পিয়ার তড়িৎপ্রবাহ দ্বারা কত সময়ে 3 মোল Fe^{3+} Fe^{2+}-তে বিজারিত হবে?

Ans. Fe^{3+} থেকে Fe^{2+}-তে বিজারিত হওয়ায় বিক্রিয়াটি হল $Fe^{3+} - e \rightarrow Fe^{2+}$

আমরা জানি 1 মোল Fe^{3+} এর বিজারণে প্রয়োজন হয় 96500 C তড়িৎ

∴ 3 ,, ,, ,, ,, 3×96500 C $= 2·895 \times 10^5$C

তড়িৎ পরিমাণ $Q = c \times t$ বা, $2·895 \times 10^5 = 2 \times t$ বা, $t = 1·4475 \times 10^5$ সে $= 40·21$ ঘণ্টা।

(2) 1 মোল H_2O-এর O_2-তে জারিত হতে, (ii) 1 মোল MnO_4^--এর Mn^{2+} আয়নে বিজারিত হতে এবং (iii) 1 মোল Cu^{2+} এর ধাতব Cu-তে বিজারিত হতে কত কুলম্ব তড়িতের প্রয়োজন হবে?

Ans. (i) H_2O এর O_2 তে জারণ— $2H_2O \rightleftharpoons 4H^+ + O_2 + 4e^-$

সুতরাং 2 মোল H_2O এর জারণে 4×96500 কুলম্ব তড়িতের প্রয়োজন,

1 মোল ,, ,, $\frac{4 \times 96500}{2} = 1·93 \times 10^5$ কুলম্ব তড়িতের প্রয়োজন।

(ii) MnO_4^- এর Mn^{2+} এ বিজারণ $MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \rightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$

সুতরাং 1 মোল MnO_4^- এর বিজারণে $5 \times 96500 = 4·825 \times 10^5$ কুলম্ব তড়িতের প্রয়োজন।

(iii) Cu^{2+} এর Cu-তে বিজারণে— $Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$

1 মোল Cu^{2+} এর বিজারণে $2 \times 96500 = 1·93 \times 10^5$ কুলম্ব তড়িতের প্রয়োজন হয়।

(3) প্যালাডিয়ামের একটি অজানা লবণের জলীয় দ্রবণের তড়িদ্‌বিশ্লেষণে 1 ঘণ্টা ধরে 3 অ্যাম্পিয়ার তড়িৎপ্রবাহ করা হল। তড়িদ্‌বিশ্লেষণে 2·977 গ্রাম পালাডিয়াম আয়ন ক্যাথোডে বিজারিত হয়। দ্রবণে প্যালাডিয়াম আয়নের চার্জ কত?

Ans. দ্রবণে প্রবাহিত তড়িত পরিমাণ $Q = c \times t$ যেখানে c অ্যাম্পিয়ার t সে $= 3 \times 60 \times 60 = 10800$ কুলম্ব

ক্যাথোডে Pd নীচের মতো বিজারিত হয়

Pd^{n+} + ne^- → Pd
1 মোল n মোল 1 মোল (106·4 গ্রাম)

সুতরাং $n \times 96500$ কুলম্ব 106·4 গ্রাম Pd উৎপন্ন করে।

10800 কুলম্ব $\frac{106{\cdot}4 \times 10800}{96500n}$ গ্রাম Pd উৎপন্ন করে।

কিন্তু বলা আছে 2·977 গ্রাম Pd আয়ন বিজারিত হয়, $\therefore \frac{106{\cdot}4 \times 10800}{96500n} = 2{\cdot}977$ বা, $n = \frac{106{\cdot}4 \times 10800}{96500 \times 2{\cdot}977} = 4$

সুতরাং Pd আয়নের চার্জ +4 অর্থাৎ Pd^{4+}

(4) এক গ্রাম আয়ন N^{3-} -এর তড়িৎ পরিমাণ কুলম্ব এককে নির্ণয় কর। 1টি N^{3-} আয়নের চার্জ কত?

Ans. আমরা জানি একটি আয়নের চার্জ = $\frac{nF}{N}$ যেখানে n = যোজ্যতা = 3, F = 96500 কুলম্ব, $N = 6{\cdot}023 \times 10^{23}$

$\therefore$ 1টি N^{-3} আয়নের চার্জ = $\frac{3 \times 96500}{6{\cdot}023 \times 10^{23}} = 3 \times 1{\cdot}602 \times 10^{-19}$ কুলম্ব

এক গ্রাম-আয়ন N^{-3} আয়নের চার্জ = 1 গ্রাম-তুল্যাঙ্ক আয়নের চার্জ × যোজ্যতা

এখন 1 গ্রাম-তুল্যাঙ্ক আয়নের চার্জ = 1 ফ্যারাডে

$\therefore$ 1 গ্রাম-আয়ন N^{-3} আয়নের চার্জ = 1 ফ্যারাডে × যোজ্যতা = 96500 কুলম্ব × 3 = $2{\cdot}89 \times 10^5$ কুলম্ব।

(5) কপার তড়িদ্দ্বারের মাধ্যমে 1M $CuSO_4$ দ্রবণের মধ্য দিয়ে 965 সেকেন্ড সময়ে 10A তড়িৎপ্রবাহ করা হল। দুটি তড়িদ্দ্বার এবং দ্রবণটির কী পরিবর্তন লক্ষ করা যাবে?

Ans. তড়িদ্দ্বারে সংঘটিত বিক্রিয়াগুলি হল, ক্যাথোডে ঃ $Cu^{2+} + 2e \rightarrow Cu$ অ্যানোডে ঃ $Cu - 2e \rightarrow Cu^{2+}$

তড়িৎপরিমাণ = 10×965 = 9650 কুলম্ব = $\frac{9650}{96500} = 0{\cdot}1$ ফ্যারাডে, কপারের গ্রাম-তুল্যাঙ্ক = $\frac{63{\cdot}5}{2} = 31{\cdot}75$

ক্যাথোডে সঞ্চিত Cu এর পরিমাণ = $0{\cdot}1 \times 31{\cdot}75 = 3{\cdot}175$ গ্রাম।

যে পরিমাণ Cu, তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য থেকে ক্যাথোডে জমা হয়, ঠিক সেই পরিমাণ Cu, অ্যানোড থেকে দ্রবণে চলে আসে, তাই দ্রবণের গাঢ়ত্বের কোনো পরিবর্তন হবে না। Cu ক্যাথোডের আয়তন বাড়ে এবং Cu অ্যানোডের আয়তন কমে।

(6) 4·025 g জিঙ্ক সালফেট নিয়ে 2 amp তড়িৎ প্রবাহ দ্বারা তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করা হল। কত সময়ে দ্রবণটি সম্পূর্ণ বিয়োজিত হবে? (Zn 65)

Ans. 4·025 g জিঙ্ক সালফেটের মধ্যে Zn এর পরিমাণ = $\frac{65 \times 4{\cdot}025}{161} = 1{\cdot}625$ g, Zn এর তুল্যাঙ্ক $E = \frac{65}{2}$

$W = \frac{Ect}{96500}$ বা, $1{\cdot}625 = \frac{65 \times 2 \times t}{2 \times 96500}$ বা, $t = \frac{1{\cdot}625 \times 2 \times 96500}{65 \times 2}$ = 2412·5 সে = 40·2 মি

(7) H^+ আয়ন উপস্থিত এমন একটি জলীয় দ্রবণে 0·3 অ্যাম্পিয়ার তড়িৎপ্রবাহ 2 মিনিট ধরে চালনা করলে কতগুলি হাইড্রোজেন অণু মুক্ত হবে?

Ans. ক্যাথোডে বিক্রিয়া ঃ $H^+ + e = H$. $H + H = H_2\uparrow$, তড়িৎ পরিমাণ = $0{\cdot}3 \times 2 \times 60$ = 36 কুলম্ব।

1টি ইলেকট্রন 1টি H^+-কে নিস্তড়িত করে H পরমাণুতে পরিণত করে।

1টি ইলেকট্রনের চার্জ = $\frac{F}{N} = \frac{96500}{6{\cdot}023 \times 10^{23}} = 1{\cdot}602 \times 10^{-19}$ কুলম্ব

সুতরাং, $1{\cdot}602 \times 10^{-19}$ কুলম্ব তড়িৎ বহন করে 1টি ইলেকট্রন

$\therefore$ 36 কুলম্ব তড়িৎ বহন করে $\frac{36}{1{\cdot}602 \times 10^{-19}} = 11{\cdot}22 \times 10^{19}$ সংখ্যক ইলেকট্রন।

1টি ইলেকট্রন মুক্ত করে 1টি H পরমাণুকে,

$\therefore 11{\cdot}22 \times 10^{19}$ সংখ্যক ইলেকট্রন মুক্ত করে $11{\cdot}22 \times 10^{19}$ সংখ্যক H পরমাণুকে।

হাইড্রোজেনের 1টি অণু = 2টি পরমাণু। সুতরাং মুক্ত হাইড্রোজেন অণুর সংখ্যা = $\frac{11{\cdot}22 \times 10^{19}}{2} = 5{\cdot}61 \times 10^{19}$

(8) HCl দ্রবণে 1 অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ প্রবাহ 1 সেকেন্ডের জন্য চালনা করলে কতগুলি ইলেকট্রন প্রবাহিত হবে?

Ans. $HCl \rightleftharpoons H^+ + Cl^-$ ক্যাথোডে ঃ $H^+ + e = H$

HCl-এর জলীয় দ্রবণে তড়িৎপ্রবাহ চালনা করলে H^+ আয়নগুলি ক্যাথোডে যায় এবং প্রত্যেকে 1টি ইলেকট্রন (e) গ্রহণ করে নিস্তড়িত হয়। সুতরাং ক্যাথোডে মুক্ত H^+ আয়নের সংখ্যা = ক্যাথোড থেকে গৃহীত e-এর সংখ্যা।

তড়িৎ পরিমাণ = 1 অ্যাম্পিয়ার × 1 সে = 1 কুলম্ব এবং 1 গ্রাম-তুল্যাঙ্ক H^+ আয়নের সংখ্যা = $6{\cdot}023 \times 10^{23}$

1F = 96500 কুলম্ব তড়িৎ দ্বারা মুক্ত হয় 1 গ্রাম-তুল্যাঙ্ক = $6{\cdot}023 \times 10^{23}$ সংখ্যক H^+ আয়ন।

∴ 1 কুলম্ব তড়িৎ দ্বারা মুক্ত হয় $\frac{6{\cdot}023 \times 10^{23}}{96500} = 6{\cdot}24 \times 10^{18}$ সংখ্যক H^+ আয়ন মুক্ত হবে।

সুতরাং, ক্যাথোড থেকে গৃহীত e-এর সংখ্যা = $6{\cdot}24 \times 10^{18}$

(9) 300 ml, 0·16 M $ZnSO_4$ দ্রবণের মধ্য দিয়ে 230 সেকেন্ডের জন্য 1·7 অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ করা হল। প্রবাহের কর্মক্ষমতা = 90% হলে, Zn সঞ্চিত হওয়ার পর দ্রবণে Zn^{2+}-এর মোলারিটি নির্ণয় কর। ধরে নাও তড়িদ্‌বিশ্লেষণের সময় দ্রবণের আয়তনের কোনো পরিবর্তন হয় নাই।

Ans. তড়িৎ পরিমাণ $Q = c \times t = 1{\cdot}7 \times 230$ কুলম্ব

কার্যকরী তড়িৎ পরিমাণ = $\frac{1{\cdot}7 \times 230 \times 90}{100} = 351{\cdot}9$ কুলম্ব

এখন 96500 কুলম্ব সঞ্চিত করে 1 গ্রাম-তুল্যাঙ্ক Zn = 0·5 মোল Zn

∴ 351·9 কুলম্ব সঞ্চিত করে $\frac{0{\cdot}5 \times 351{\cdot}9}{96500} = 0{\cdot}0018$ মোল Zn

প্রাথমিক অবস্থায় দ্রবণে Zn-এর পরিমাণ = $\frac{300 \times 0{\cdot}16}{1000} = 0.048$ মোল Zn

∴ তড়িৎ চালনার পর দ্রবণে অবশিষ্ট Zn-এর পরিমাণ = $0{\cdot}048 - 0{\cdot}0018 = 0{\cdot}0462 = 4{\cdot}62 \times 10^{-2}$ মোল

300 ml-এ উপস্থিত মোল = $4{\cdot}62 \times 10^{-2}$ মোল

∴ 1000 ml-এ উপস্থিত মোল = $\frac{4{\cdot}62 \times 10^{-2} \times 1000}{300} = 0{\cdot}154$ মোল

সুতরাং, শেষ দ্রবণে Zn^{2+}-এর মোলারিটি = 0·154

(10) 800 cm^2 ক্ষেত্রফল বিশিষ্ট একটি ধাতব পাত্রে সিলভারের প্রলেপ দিতে 3 ঘণ্টার জন্য 0·2 amp প্রবাহের প্রয়োজন হল। পাত্রটিতে সঞ্চিত সিলভারের বেধ কত হবে? Ag-এর ঘনত্ব = 10·47 g/cc ; Ag-এর পাঃ গুরুত্ব = 107·92

Ans. ধরি সঞ্চিত Ag-এর ওজন W g; প্রবাহ $c = 0{\cdot}2$ amp, $t = 3 \times 60 \times 60$ সে

তুল্যাঙ্ক $E = 107{\cdot}92/1 = 107{\cdot}92$, মানগুলি নীচের সমীকরণে বসিয়ে পাই

$$W = \frac{Ect}{96500} = \frac{107{\cdot}92 \times 0{\cdot}2 \times 3 \times 60 \times 60}{96500} = 2{\cdot}42 \text{ g}$$

সঞ্চিত Ag-এর আয়তন = 2·42/10.47 = 0·2311 cc

সুতরাং সঞ্চিত Ag-এর বেধ = $0{\cdot}2311/800 = 2{\cdot}89 \times 10^{-4}$ cm

● অনুশীলনী ●

তড়িৎ-অবিশ্লেষ্য পদার্থের দ্রবণ

[A] অতি সংক্ষিপ্ত উত্তরধর্মী প্রশ্ন ঃ

(1) রাউল্টের সূত্রটি বিবৃত করো। (2) দ্রবণের গাঢ়ত্ব প্রকাশের কোন্ পদ্ধতিটি উষ্ণতার উপর নির্ভর করে না? (3) আইসোটোনিক দ্রবণ কাকে বলে? একটি উদাহরণ দাও। (4) মোল ভগ্নাংশের সংজ্ঞা দাও। (5) দ্রবণের গাঢ়ত্বের সঙ্গে ওর অভিস্রাবণ চাপ কীরূপ সম্পর্ক যুক্ত? (6) গ্যাসে কঠিনের দ্রবণ এবং গ্যাসে তরলের দ্রবণের উদাহরণ দাও। (7) ইথানল ও জলের একটি দ্রবণে ইথানল ও জলের মোল সংখ্যা সমান হলে দ্রবণটির মোল ভগ্নাংশ কত হবে? (8) পটাশিয়াম আয়োডাইডের জলীয় দ্রবণে HgI_2 যোগ করলে বাষ্প চাপ বেড়ে যায় কেন? (9) আংশিক প্রবেশ্য পর্দা কী? দুটি উদাহরণ দাও। (10) বাষ্পচাপের অবনমন সমাবর্তী ধর্ম কিনা যুক্তিসহ বল।

[B] সংক্ষিপ্ত উত্তরধর্মী প্রশ্ন ঃ

(1) রাউল্টের সূত্রটি বিবৃত করে ওর গাণিতিক রূপটি প্রকাশ করো। (2) দ্রবণ কাকে বলে? গ্যাসে-গ্যাসের দ্রবণ, কঠিনে-কঠিনের দ্রবণ এবং কঠিনে-গ্যাসের দ্রবণের উদাহরণ দাও। (3) 1 মোলাল এবং 1 মোলার দ্রবণের মধ্যে কোন্‌টি গাঢ়তর এবং কেন? (4) একটি দ্রবণের সমাবর্তী (Colligative) ধর্ম বলতে কী বোঝ? (5) অভিস্রাবণ এবং অভিস্রাবীয় চাপ বলতে কী বোঝ? (6) দ্রবণের স্ফুটনাঙ্কের উন্নয়ন এবং হিমাঙ্কের অবনমন বলতে কী বোঝ? (7) মোলাল স্ফুটনাঙ্ক ধ্রুবক বলতে কী বোঝ? একটি দ্রবণের মোলালিটির সঙ্গে এর সম্পর্ক কী? (8) একটি তরল দ্রাবকের সঙ্গে অনুদ্বায়ী দ্রাব যোগ করলে তরলটির বাষ্পচাপের কীরূপ পরিবর্তন হবে? কেন হবে বুঝিয়ে দাও।

(9) একটি বিশুদ্ধ তরলের হিমাঙ্ক কমে যায় কেন যখন ওর সঙ্গে এক অনুদ্বায়ী কঠিন দ্রাব যোগ করা হয়? (10) আইসোটোনিক, হাইপারটোনিক এবং হাইপোটোনিক দ্রবণ কাকে বলে? (11) অভিস্রাবীয় চাপ কীভাবে দ্রাবের মোল সংখ্যার উপর নির্ভর করে বুঝিয়ে দাও। (12) শীতের দেশে রাস্তায় বরফ জমে গেলে, বরফ পরিষ্কার করার জন্য $CaCl_2$ রাস্তায় ছড়ানো হয় কেন? (13) একটি দ্রবণের অভিস্রাবীয় চাপের সাহায্যে একটি পদার্থের আণবিক ভর কীভাবে নির্ণয় করা যায় বুঝিয়ে দাও।(14) আদর্শ দ্রবণ কাকে বলে? আদর্শ দ্রবণের বৈশিষ্ট্যগুলি উল্লেখ করো।

[C] রচনাধর্মী প্রশ্ন ঃ

(1) বাষ্পচাপের আপেক্ষিক অবনমন বলতে কী বোঝ? দেখাও যে এটি একটি সমাবর্তী ধর্ম।(2) অভিস্রাবীয় চাপের সাহায্যে কীভাবে দ্রাবের আণবিক ভর নির্ণয় করা যায়? এই চাপ কীভাবে উষ্ণতা এবং বায়ুমণ্ডলীয় চাপের উপর নির্ভর করে? (3) দেখাও যে দ্রবণের হিমাঙ্কের অবনমন একটি সমাবর্তী ধর্ম। এর থেকে কীভাবে দ্রাবের আণবিক ভর নির্ণয় করা যায়? (4) রাউল্টের সূত্রটি বিবৃত করো। এই সূত্রের সাহায্যে কীভাবে আদর্শ এবং অনাদর্শ দ্রবণের মধ্যে পার্থক্য করা যায়? (5) দ্রবণের স্ফুটনাঙ্কের উন্নয়ন বলতে কী বোঝ? দেখাও যে এটি একটি সমাবর্তী ধর্ম। এর থেকে কীভাবে দ্রাবের আণবিক ভর নির্ণয় করা যায় বল?

[D] নৈর্ব্যক্তিক প্রশ্ন ঃ

সঠিক উত্তরটি নির্বাচন করো ঃ

(i) 15°C উষ্ণতায় 5% চিনির (আণবিক ভর 342) দ্রবণের অভিস্রাবীয় চাপ হল—(a) 4 atm (b) 2·45 atm (c) 3·55 atm (d) 2·95 atm **(ii)** দ্রবণের উষ্ণতা বৃদ্ধিতে—(a) মোলারিটি বাড়ে, (b) মোলালিটি কমে, (c) মোলভগ্নাংশ বাড়ে (d) শতকরামাত্রা বাড়ে। **(iii)** কোন্‌টির জলীয় দ্রবণে অভিস্রাবীয় চাপ সবচেয়ে বেশি হবে? (a) 1(M) NaCl (b) 1(M) ইউরিয়া (c) 1(M) সুক্রোজ (d) 1(M) গ্লুকোজ **(iv)** কোন্‌গুলি সমাবর্তী ধর্ম?—(a) অভিস্রাবীয় চাপ (b) স্ফুটনাঙ্ক (c) বাষ্পচাপ (d) তড়িৎপরিবাহিতা। **(v)** দ্রবণের গাঢ়ত্ব প্রকাশের কোন্ পদ্ধতিটি উষ্ণতা-নিরপেক্ষ?—(a) মোলারিটি (b) মোলালিটি (c) নর্মালিটি (d) ফর্মালিটি।

● **গাণিতিক প্রশ্নাবলি ঃ**

1. প্রতি লিটারে 10·2 g গ্লিসারল আছে এমন একটি দ্রবণ এবং শতকরা 2 ভাগ গাঢ়ত্বের একটি গ্লুকোজ দ্রবণের আইসোটোনিক। গ্লিসারলের আণবিক ভর নির্ণয় করো। (গ্লুকোজের আণবিক ভর 180) [*Ans.* 91·8]

2. 27°C উষ্ণতায় শতকরা 0·2 ভাগ গাঢ়ত্বের সেলুলোজ অ্যাসিটেটের অ্যাসিটোনীয় দ্রবণ (আপেক্ষিক গুরুত্ব 0·8) অ্যাসিটোনের বিরুদ্ধে 23·1 mm Hg অভিস্রাবীয় চাপ প্রয়োগ করে। সেলুলোজ অ্যাসিটেটের আণবিক গুরুত্ব নির্ণয় করো। [*Ans.* 27500]

3. 20°C উষ্ণতায় 1 লিটার জলে 34·2 গ্রাম গ্লুকোজের একটি দ্রবণের অভিস্রাবীয় চাপ 2·522 atm হলে *R*-এর মান লিটার অ্যাটমোসফিয়ার এককে নির্ণয় করো। [*Ans.* 0·089]

4. 10°C উষ্ণতায় একটি ইউরিয়ার দ্রবণের অভিস্রাবীয় চাপ 500 mm Hg. দ্রবণটিকে লঘু করে ওর উষ্ণতা বাড়িয়ে 28·8°C করা হল। নতুন দ্রবণটির অভিস্রাবীয় চাপ 105·3 mm Hg হল। লঘুকরণের মাত্রা নির্ণয় করো। [*Ans.* 1 ঃ 5]

5. 373 K উষ্ণতায় গ্লুকোজের জলীয় দ্রবণের বাষ্পচাপ 750 mm Hg. দ্রাবের মোলালিটি এবং মোল ভগ্নাংশ নির্ণয় করো। [*Ans.* 0·73, মোল ভগ্নাংশ 0·013]

6. গ্লুকোজের একটি জলীয় দ্রবণ 100·01C উষ্ণতায় ফুটে। গ্লুকোজের জলীয় দ্রবণে গ্লুকোজ অণুর সংখ্যা নির্ণয় করো যে দ্রবণে 100g জল আছে। জলের K_b = 1·86 K mol^{-1} [*Ans.* 1·204×10^{21}]

7. 42·02 g বেঞ্জিনে একটি পদার্থের 0·5042 g দ্রবীভূত করলে দ্রবণটি 80·175°C -এ ফুটে। বেঞ্জিনের স্ফুটনাঙ্ক ও বাষ্পীভবনের লীন তাপ যথাক্রমে 80°C এবং 94 cal g^{-1}। দ্রাবকের আণবিক ভর কত? [*Ans.* 181·9]

8. 1 লিটার জলে কী পরিমাণ ইথানল যোগ করলে দ্রবণটি 14°F উষ্ণতায় কঠিনে পরিণত হবে? জলের K_f = 1·86 K mol^{-1}. [*Ans.* 247·3g]

9. 27°C উষ্ণতায় একটি জলীয় দ্রবণের হিমাঙ্ক –0·236°C। দ্রবণটির অভিস্রাবীয় চাপ কত? [*Ans.* 4·32 atm]

10. 0·5 g কর্পূর (গলনাঙ্ক 178°C) 10·4 mg কোনো পদার্থে যুক্ত করলে মিশ্রণটি 169·7°C উষ্ণতায় গলে যায়। পদার্থটির আণবিক ওজন নির্ণয় করো। [*Ans.* 100]

11. 1·065g আয়োডিন 30·14 g ইথারে দ্রবীভূত করলে ওর স্ফুটনাঙ্কের মান 0·296°C বৃদ্ধি পায়। ইথারের আণবিক স্ফুটনাঙ্ক ধ্রুবক K_b = 2·11°C হলে আয়োডিনের আণবিক ওজন নির্ণয় করো। [*Ans.* 251·9]

12. একটি অনুদ্বায়ী পদার্থের জলীয় দ্রবণের হিমাঙ্ক –0·3°C, বিশুদ্ধ জলের বাষ্পচাপ 298 K উষ্ণতায় 23·5 mm Hg এবং জলের K_f = 1·86°C/mol. 298 K উষ্ণতা দ্রবণটির বাষ্পচাপ নির্ণয় করো। [*Ans.* 23·44 mm Hg]

13. একটি মোটরগাড়ির রেডিয়েটারে 8 L জল এবং 2 L মিথাইল অ্যালকোহল যোগ করা হল। মিথানলের ঘনত্ব 0·8 g/ml হলে সবচেয়ে কম কোন্ উষ্ণতায় রেডিয়েটারের জল জমে যাবে না। জলের K_f = 1·86 Km^{-1}. [*Ans.* –11·625°C]

14. 100 ml দ্রবণে 7g প্রোটিন আছে এমন দ্রবণের 37°C উষ্ণতা অভিস্রাবণ চাপ = 25 mm Hg, প্রোটিনের আণবিক ভর নির্ণয় করো। [*Ans.* 54015]

15. 303 K উষ্ণতায় 90 g জলের সঙ্গে 10 g গ্লুকোজ যোগ করে দ্রবণ প্রস্তুত করা হল। বিশুদ্ধ জলের বাষ্পচাপ 303 K উষ্ণতায় 32·8 mm হলে দ্রবণটির বাষ্পচাপ কত হবে? [*Ans.* 32·4 mm]

কলয়েডীয় অবস্থা

[A] অতিসংক্ষিপ্ত উত্তরধর্মী প্রশ্ন ঃ

(1) পদার্থের কলয়ডীয় অবস্থা বলতে কী বোঝ? (2) বিস্তার মাধ্যম এবং বিস্তৃত দশা বলতে কী বোঝ? (3) এয়ারোসল কী? দুটি উদাহরণ দাও। (4) সল ও জেলের মধ্যে পার্থক্য কী? (5) আইসো ইলেকট্রিক বিন্দু কাকে বলে? (6) হাইড্রোফোবিক সল এবং হাইড্রোফিলিক সল কাকে বলে? উদাহরণ দাও। (7) কলয়েড সিস্টেমে তীব্র আলো ফেললে কী ঘটে—এই ঘটনাকে কী বলা হয়? (8) তঞ্চন ক্রিয়া কী? (9) পেপটাইজেশন কাকে বলে? (10) গোল্ড সংখ্যা কী? (11) KI দ্রবণে অতিরিক্ত $AgNO_3$ দ্রবণ যোগ করে যে সল তৈরি হয়, তার কলয়েড কণায় কী জাতীয় চার্জ থাকতে পারে? (12) নীচের কলয়েড সিস্টেমগুলির বিস্তার মাধ্যমে বিস্তৃত কণাগুলি উল্লেখ করো—(i) কুয়াশা (ii) ধোঁয়া (iii) দুধ (13) লাইওফিলিক সল কী? (14) একটি সলের উদাহরণ দাও যেখানে বিস্তার মাধ্যম হল কঠিন এবং বিস্তৃত দশা হল তরল।(14) ছোটোখাটো রক্তপাত বন্ধ করতে ফটকিরি কীভাবে কাজ করে? (15) তঞ্চনকারী পদার্থ হিসাবে NaCl এবং $AlCl_3$ এর মধ্যে কোন্‌টি বেশি কার্যকরী হয়?

[B] সংক্ষিপ্ত উত্তরধর্মী প্রশ্ন ঃ

(1) কলয়েড কোনো পদার্থ নয়—পদার্থের একটি বিশেষ অবস্থা মাত্র—ব্যাখ্যা করো। (2) হাইড্রোফোবিক এবং হাইড্রোফিলিক কলয়েড কাকে বলে? ওদের মধ্যে পার্থক্যগুলি দেখাও।(3) নীচেরগুলি উপযুক্ত উদাহরণসহ বুঝিয়ে দাও।(i) জেল, (ii) সল, (iii) এয়ারোসল, (iv) হাইড্রাসল। (4) নীচেরগুলিতে কী ঘটবে বুঝিয়ে দাও—(i) As_2S_3 কলয়েডের মধ্যে তীব্র আলোকরশ্মি আপতিত করা হল? (ii) ফেরিক হাইড্রক্সাইড সলে NaOH দ্রবণ যোগ করা হল। (iii) একটি কলয়েড সিস্টেমে তড়িৎপ্রবাহ করা হল।(5) সুলজ-হার্ডির নিয়মটি বিবৃত করো এবং উদাহরণ সহ বুঝিয়ে দাও।(6) কলয়েড সিস্টেম এবং প্রকৃত দ্রবণের মধ্যে পার্থক্যগুলি দেখাও।(7) কলয়েড প্রস্তুতির রাসায়নিক পদ্ধতিগুলি বর্ণনা করো।(8) গোল্ডের কলয়েড কীভাবে প্রস্তুত করা হয়? একে কীভাবে রক্ষা করা যায়? (9) ফেরিক ক্লোরাইড থেকে পেপটাইজেশন প্রক্রিয়ায় কীভাবে কলয়েড প্রস্তুত করা যায় বর্ণনা করো।(10) ব্রাউনিয়ান গতি বলতে কী বোঝ? কলয়েড সিস্টেমের মধ্যে এইরূপ গতির সৃষ্টি হয় কেন?(11) সালফার এবং গোল্ডের কলয়েড প্রস্তুতির রাসায়নিক পদ্ধতি বর্ণনা করো। (12) কলয়েড কণাগুলি থিতিয়ে পড়ে না কেন বুঝিয়ে দাও। জল বিশোধনে পটাশ অ্যালাম ব্যবহার করা হয় কেন?(13) লাইওফিলিক সলের চেয়ে লাইওফোবিক সলের ক্ষেত্রে টিন্ডাল ক্রিয়া আরও তীব্র হয় কেন?(14) কারখানার ধোঁয়া বের হওয়ার চিমনীতে তড়িদ্বাহিত প্লেট রাখা থাকে কেন? (15) দাড়ি কাটার সময় কেটে গেলে আলাম লাগানো হয় কেন? (16) কয়েকটি তঞ্চন রক্ষাকারক পদার্থের নাম লেখ। পদার্থগুলি কীভাবে তঞ্চন রক্ষক হিসাবে কাজ করে বুঝিয়ে দাও। (17) তড়িৎচলন কাকে বলে? কলয়েড কণা কীভাবে আহিত হয় বুঝিয়ে দাও।(18) নদীর মোহনায় বদ্বীপের সৃষ্টি হয় কী করে বুঝিয়ে দাও।

[C] রচনাভিত্তিক প্রশ্ন ঃ

(1) টীকা লেখ—(i) পেপটাইজেশন, (ii) টিন্ডাল ক্রিয়া, (iii) ডায়ালিসিস ও তার ব্যবহার, (iv) তঞ্চন, (v) ব্রাউনীয় গতি, গোল্ড সংখ্যা।

(2) প্রকৃত দ্রবণ এবং কলয়েড সিস্টেমের পার্থক্যগুলি উল্লেখ করো।

(3) কলয়েড সিস্টেমকে তড়িৎক্ষেত্রে রাখলে, কণাগুলি তড়িদ্দ্বারের দিকে চলতে থাকে কেন? $Fe(OH)_3$ সলকে তড়িৎক্ষেত্রে রাখলে সল কণাগুলি কোনদিকে যাবে?

(4) ঝিল্লিবিশ্লেষণ কাকে বলে? এর ব্যবহারগুলি উল্লেখ করো।

(5) As_2S_3 এর কলয়েড সিস্টেমে নীচের প্রক্রিয়াগুলি করা হলে—তোমার পর্যবেক্ষণ কী হবে কারণ সহ বর্ণনা করো। (i) সিস্টেমটিতে আলোক রশ্মি আপতিত করা হল, (ii) সিস্টেমে একটি তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থ যোগ করা হল, (iii) সিস্টেমটিকে তড়িৎক্ষেত্রে রাখা হল।

[D] নৈর্ব্যক্তিক প্রশ্ন ঃ

সঠিক উত্তরটি নির্বাচন করো ঃ

(1) যে কলয়েড সিস্টেমে বিস্তার মাধ্যম এবং বিস্তৃত দশা উভয়ই তরল সেই সিস্টেমকে বলা হয়—(a) জেল, (b) এয়ারোসল, (c) ইমালশন, (d) ফোম। (2) সদ্য প্রস্তুত অধঃক্ষেপকে আবার কলয়েড কণায় পরিণত করা হয়—(a) পেপটাইজেশন প্রক্রিয়ায়, (b) ডায়ালিসিস প্রক্রিয়ায়, (c) ইলেকট্রোফোরেসিস প্রক্রিয়ায়।(3) কলয়েড সিস্টেমে তরল বিস্তৃত দশায় আছে তার উদাহরণ হল—(a) ধোঁয়া, (b) কুয়াশা, (c) দুধ, (d) চিজ। (4) কলয়েড টিন্ডাল ক্রিয়া দেখায় আলোর—(a) পোলারিজেশনের জন্য, (b) বিচ্ছুরণের জন্য, (c) প্রতিফলনের জন্য, (d) প্রতিসরণের জন্য। (5) নেগেটিভ চার্জ যুক্ত As_2S_3 দ্রবণের অধঃক্ষেপণ ঘটানোর জন্য নীচের কোনটি সবচেয়ে কার্যকরী হবে?—(a) KCl, (b) $K_3Fe(CN)_6$, (c) $MgCl_2$, (d) $AlCl_3$. (6) তড়িৎ ক্ষেত্রে কলয়েড কণার চলনকে বলা হয়—(a) ডায়ালিসিস, (b) টিন্ডাল ক্রিয়া, (c) ইলেকট্রোফোরেসিস, (d) ইমালসন।

তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থের দ্রবণ

[A] অতি সংক্ষিপ্ত উত্তরধর্মী প্রশ্ন ঃ

(1) আপেক্ষিক রোধাঙ্কের একক কী? (2) রোধাঙ্কের সঙ্গে আপেক্ষিক পরিবাহিতার সম্পর্ক কী? (3) সেল ধ্রুবক কী? (4) আয়নের পরিবহনাঙ্ক কাকে বলে? (5) তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের একক কী? (6) আপেক্ষিক পরিবাহিতা ও তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতার সম্পর্ক কী? (7) কোনো তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থের মধ্যে 1F তড়িৎ প্রবাহ করলে কী পরিমাণ পদার্থ তড়িদ্দ্বারে মুক্ত হবে? (8) 1F তড়িৎ = কত কুলম্ব? (9) আয়নীয় পরিবাহিতা বলতে কী বোঝ? (10) তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক ও রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের মধ্যে সম্পর্ক কী? (11) দ্রবণের পরিবাহিতা বলতে কী বোঝ? (12) অসীম লঘু দ্রবণের মোলার পরিবাহিতা বলতে কী বোঝ? (13) কোলরাউসের সূত্রটি বিবৃত করো। (14) তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থে কোনটি তড়িৎ পরিবহন করে? (15) দ্রবণের লঘুকরণে এর তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতার কী হয়?

[B] সংক্ষিপ্ত উত্তরভিত্তিক ঃ

1. আপেক্ষিক পরিবাহিতা এবং মোলার পরিবাহিতা কাকে বলে? প্রত্যেকটির একক উল্লেখ করো। তারা পরস্পর কীভাবে সম্পর্কিত?

2. ট্রান্সপোর্ট সংখ্যা এবং আয়নের গতিশীলতা বলতে কী বোঝ? এদের পারস্পরিক সম্পর্ক প্রকাশ করো।

3. তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতা এবং আপেক্ষিক পরিবাহিতা কাকে বলে? এদের মধ্যে সম্পর্কটি প্রতিষ্ঠা করো।

4. টীকা লেখ ঃ (a) সেল ধ্রুবক (b) মোলার পরিবাহিতা (c) তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতা।

5. কোলরাউসের সূত্রটি বিবৃত করো এবং ব্যাখ্যা করে বুঝিয়ে দাও।

6. সংজ্ঞা এবং একক লেখ— (i) আপেক্ষিক পরিবাহিতা (ii) তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতা (iii) ট্রান্সপোর্ট সংখ্যা (iv) আয়নীয় পরিবাহিতা।

7. তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতা এবং সেল ধ্রুবকের মধ্যে সম্পর্ক প্রতিষ্ঠা করো।

8. দ্রবণের তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতা দ্রবণের লঘুকরণের সাথে সাথে বেড়ে যায় কেন?

9. ফ্যারাডের তড়িদ্‌বিশ্লেষণ সূত্রগুলি বিবৃত করো। তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক ও রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের মধ্যে সম্পর্ক প্রতিষ্ঠা করো।

10. ফ্যারাডের তড়িদ্‌বিশ্লেষণ সূত্র লেখ। সূত্র দুটি থেকে (a) তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের সংজ্ঞা, (b) কোনো মৌলের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক এবং তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের মধ্যে সম্পর্ক স্থির করো।

11. তড়িদ্‌বিশ্লেষণে একযোজী আয়ন, দ্বিযোজী আয়ন কী পরিমাণ তড়িৎ পরিবহন করে? Al^{3+} আয়নটির তড়িৎ-মাত্রা কত হবে?

12. (a) ফ্যারাডে কাকে বলে? ফ্যারাডের সূত্রের সাহায্যে এক ফ্যারাডে কত কুলম্বের সমান নির্ণয় করো।

(b) দেখাও, তড়িদ্‌বিশ্লেষণে তড়িদ্দ্বারে যেকোনো পদার্থের এক গ্রাম-তুল্যাঙ্ক মুক্ত করতে নির্দিষ্ট পরিমাণ তড়িতের প্রয়োজন।

13. (a) দেখাও যে তড়িতের প্রাথমিক এককের মান হল F/N যেখানে N = অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা এবং F = ফ্যারাডে।

(b) 'পদার্থের মতো তড়িতের প্রকৃতিও পারমাণবিক'—উক্তির অর্থ বুঝিয়ে দাও।

14. ফ্যারাডে (F), অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা (N) এবং ইলেকট্রনের (e) মধ্যে সম্পর্ক নির্ণয় করো এবং এই সম্পর্ক থেকে একটি ইলেকট্রনের তড়িৎ পরিমাণ নির্ণয় করো।

[A] নৈর্ব্যক্তিক প্রশ্নাবলি ঃ

সঠিক উত্তরটি নির্বাচন করো ঃ

1. তড়িদ্‌বিশ্লেষণের প্রথম সূত্রানুযায়ী যে ভরের আয়ন মুক্ত হয় তা নীচের কোনটির সমান হয়? (a) ze (b) zc (c) zct (d) Zct/nF [*Ans.* (c)] **2.** নীচের কোনটির সঙ্গে ফ্যারাডের তড়িদ্‌বিশ্লেষণ সূত্রগুলি সম্পর্কিত? (a) ক্যাটায়নের পরমাণু ক্রমাঙ্কের সঙ্গে (b) অ্যানায়নের পরমাণু-ক্রমাঙ্কের সঙ্গে (c) তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যের রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের সঙ্গে (d) ক্যাটায়নের গতিবেগের সঙ্গে। [*Ans.* (c)] **3.** Pt তড়িদ্দ্বারের সাহায্যে লঘু H_2SO_4-এর মধ্যে তড়িৎপ্রবাহ করলে ক্যাথোডে যে বিক্রিয়ায় হয় তা হল—(a) জারণ (b) বিজারণ (c) জারণ-বিজারণ উভয়ই (d) প্রশমন। [*Ans.* (b)] **4.** নীচের কোনটি অ্যানোডিক বিক্রিয়া? (a) $Zn^{2+} - 2e \rightarrow Zn$ (b) $Cl^- \rightarrow 1/2Cl_2^- - e$, (c) $2H_2O \rightarrow 2OH^- + 2H_2 - 2e$ (d) $Fe^{3+} + e^- \rightarrow Fe^{2+}$ [*Ans.* (b)]

● **গাণিতিক প্রশ্নাবলি ঃ**

1. 1 litre $AgNO_3$ দ্রবণের ভিতর দিয়ে কিছুক্ষণ ধরে তড়িৎ চালনা করায় ক্যাথোডে 0·1259 g Ag সঞ্চিত হয়। তড়িদ্‌বিশ্লেষণের পর ওই দ্রবণের 20 ml থেকে 1·677 g AgCl উৎপন্ন করা হল। তড়িৎ-বিশ্লেষণের আগে এবং পরে $AgNO_3$ দ্রবণের শক্তি নর্ম্যাল মাত্রায় প্রকাশ করো। [*Ans.* 0·5855(N), 0·5844(N)]

2. M ধাতুর একটি লবণের মধ্য দিয়ে 1 অ্যাম্পিয়ার প্রবাহ 965 সেকেন্ডের জন্য চালনা করলে 0·406 g ধাতু সঞ্চিত হয়। ধাতুটির ক্লোরাইডের বাষ্পঘনত্ব 114 হলে ধাতুটির পাঃ ওজন কত? [*Ans.* 121·8]

3. 454 g জলের তড়িদ্‌বিশ্লেষণ ঘটাতে যে পরিমাণ তড়িতের প্রয়োজন, সেই পরিমাণ তড়িৎ 1480 g একটি ধাতুকে ক্যাথোডে জমা করতে পারে। ধাতুটির পারমাণবিক ওজন 58·7 হলে ধাতুটির সালফেট লবণের সংকেত কী? [*Ans.* MSO_4]

4. 2 অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ 1 মিনিট ধরে চালনা করলে H^+ এবং Cu^{++} আয়নের প্রত্যেকটির কতগুলি পরমাণুতে পরিণত হবে? [*Ans.* $7·49 \times 10^{20}$, $3·74 \times 10^{20}$]

5. কপারের ঘনত্ব 8·94 g/cc. 100 cm^3 ক্ষেত্রফল বিশিষ্ট বস্তুতে 10^{-3} cm বেধ বিশিষ্ট কপার আস্তরণ ফেলতে কত কুলম্ব তড়িৎ প্রয়োজন হবে? $CuSO_4$ দ্রবণ তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য রূপে ব্যবহার করা হয়েছে। (Cu = 63·5) [*Ans.* 2717·19 কুলম্ব]

6. একটি তারের মধ্য দিয়ে 5 অ্যাম্পিয়ার বিদ্যুৎপ্রবাহ প্রবাহ হচ্ছে। ওই তারের যে কোনো বিন্দু দিয়ে প্রতি সেকেন্ডে কতগুলি ইলেকট্রন প্রবাহিত হচ্ছে? [*Ans.* $3·12 \times 10^{19}$]

7. 200 ml 0·4 (M) $CuSO_4$ দ্রবণের মধ্যে 30 মি ধরে 5 amp তড়িৎপ্রবাহ চালনা করা হল। তড়িদ্‌বিশ্লেষণের পর দ্রবণে $CuSO_4$-এর পরিমাণ গ্রামে প্রকাশ করো। [*Ans.* 5·325 g]

8. কপার সালফেট দ্রবণের মধ্য দিয়ে 30 মিনিটের জন্য 0·5 অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ চালনা করায় 0·2964 g ধাতব কপার সঞ্চিত হয়। কপারের পারমাণবিক গুরুত্ব নির্ণয় করো। [*Ans.* 63·56]

9. 0·02 M KCl দ্রবণের তড়িৎ পরিবাহিতা $2·48 \times 10^{-2}$ S cm^2। মোলার পরিবাহিতা কত? [*Ans.* 12405/ Ω সেমি^{2} মোল]

10. 0·0 N NaCl দ্রবণের রোধ 200 Ω. সেল ধ্রুবক = 1 হলে দ্রবণটির তুল্যাঙ্ক রোধ কত? [*Ans.* $5 \times 10^2\ \Omega^{-1}cm^2eq^{-1}$]

11. একটি ধাতব অক্সাইডের মধ্যে 12·5% অক্সিজেন আছে। অক্সাইডটিকে ক্লোরাইডে পরিণত করে এর মধ্যে 0·965 অ্যাম্পিয়ার তড়িৎপ্রবাহ 5 ঘণ্টা ধরে চালনা করা হল। মুক্ত ধাতুটির ওজন নির্ণয় করো। ধাতুটির যোজ্যতা কত? [ধাতুর পা. গুরুত্ব = 112] [*Ans.* 10·08 g. 2]

12. Cu ক্যাথোডে ও Pt অ্যানোডের মাধ্যমে 10 g $CuSO_4$ দ্রবণে 0·01 F তড়িৎ চালনা করা হল। (i) তড়িদ্‌বিশ্লেষণের পর দ্রবণটির ওজন কত হবে? (ii) দ্রবণে উৎপন্ন অ্যাসিড বা ক্ষারের তুল্যাঙ্ক পরিমাণ কত? [*Ans.* (i) 9·6025 g, (ii) 0·01 g-eq]

13. একটি তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যের 0·08 N দ্রবণের পরিবাহিতা $1·72 \times 10^{-3}$ S cm^{-1}. দ্রবণটির তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতা কত? [*Ans.* $21·5\ \Omega^{-1}cm^2eq^{-1}$]

14. HCl, NaCl এবং CH_3COONa-এর Λ° হল যথাক্রমে 425, 128 এবং 96 $\Omega^{-1}cm^2eq^{-1}$ হলে CH_3COOH-এর তুল্যাঙ্ক পরিবাহিতা নির্ণয় করো। [*Ans.* $393\ \Omega^{-1}cm^2eq^{-1}$]

15. Cu++ দ্রবণে 1930 মিনিটের জন্য তড়িৎ প্রবাহ করলে 5g Cu মুক্ত হয়। তড়িৎ-প্রবাহমাত্রা কত? এখন যদি ওই একই পরিমাণ তড়িৎ Cu+ দ্রবণের মধ্যে চালনা করলে কী পরিমাণ কপার জমা হবে? [*Ans.* 0·13 অ্যাম্পিয়ার, 9·98 g Cu]

5 রাসায়নিক সাম্য, অ্যাসিড-ক্ষারক ও দ্রাব্যতা সাম্য এবং জারণ-বিজারণ সাম্য

[Chemical equilibria, Acid-base & Solubility equilibria and Redox equilibria]

● রাসায়নিক সাম্য ●

5.1. ভরক্রিয়া সূত্র [Law of Mass Action]

কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ার হারের উপর, বিক্রিয়ক বা বিক্রিয়াজাত পদার্থের গাঢ়ত্ব বা চাপের প্রভাব কেমন হবে, ভরক্রিয়ার সূত্র থেকে তা জানা যায়। 1867 সালে বিজ্ঞানী **গুল্ডবার্গ** (Guldberg) এবং **ওয়েজ** (Waage) ভরক্রিয়া সূত্রটি প্রকাশ করেন।

ভরক্রিয়া সূত্র ঃ ***নির্দিষ্ট উষ্ণতায়, কোনো নির্দিষ্ট মুহূর্তে, কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ার হার, সেই মুহূর্তে উপস্থিত বিক্রিয়ক পদার্থগুলির প্রত্যেকটির সক্রিয় ভরের (active mass) সমানুপাতিক হয়।***

একাধিক বিক্রিয়ক থাকলে, বিক্রিয়ার হার, সেই মুহূর্তে উপস্থিত বিক্রিয়কগুলির প্রত্যেকটির **সক্রিয় ভরের গুণফলের সমানুপাতিক হবে। বিক্রিয়কের সক্রিয় ভর বাড়লে বিক্রিয়ার হার বাড়ে, সক্রিয় ভর কমলে বিক্রিয়ার হার মন্থর হয়।**

● **সক্রিয় ভর** (Active mass) ঃ

(i) দ্রবণের ক্ষেত্রে,—সক্রিয় ভর বলতে, প্রতি একক আয়তনে উপস্থিত গ্রাম-অণুর সংখ্যা বোঝায়, অর্থাৎ সিস্টেমে প্রতি লিটারে উপস্থিত বিক্রিয়কটির গ্রাম-অণুর সংখ্যা বোঝায়। সক্রিয় ভর বিক্রিয়ক পদার্থগুলির **মোলার গাঢ়ত্ব** (molar concentration) রূপেও পরিচিত।

পদার্থের সক্রিয় ভরকে তৃতীয় বন্ধনীর মধ্যে পদার্থটির আণবিক সংকেত লিখে প্রকাশ করা হয়। যেমন—$[A]$ বলতে A পদার্থটির মোলার গাঢ়ত্ব বা সক্রিয় ভর বোঝায়।

ধরি, কোনো বিক্রিয়ক পদার্থ (A)-এর x g, V লিটার দ্রবণে দ্রবীভূত আছে। পদার্থটির গ্রাম আণবিক ওজন = M g।

$\therefore$ V লিটারে উপস্থিত গ্রাম-অণুর সংখ্যা = x/M

1 লিটারে উপস্থিত গ্রাম-অণুর সংখ্যা = $\frac{x}{M \times V}$

সুতরাং, বিক্রিয়ক পদার্থটির সক্রিয় ভর $[A] = \frac{x}{M \times V}$.

যেমন, NaOH-এর আণবিক গুরুত্ব = 40.

এখন 5 লিটার দ্রবণে 20 g NaOH দ্রবীভূত থাকলে, 5 লিটার দ্রবণে উপস্থিত গ্রাম-অণুর সংখ্যা = 20/40 = 0·5। তাহলে একক আয়তনে অর্থাৎ 1 লিটার-এ উপস্থিত গ্রাম-অণুর সংখ্যা = 0·5/5 = 0·1, সুতরাং NaOH-এর সক্রিয় ভর বা মোলার গাঢ়ত্ব = 0·1 মোল লিটার$^{-1}$। NaOH-এর এই আণবিক গাঢ়ত্বকে [NaOH] লিখে প্রকাশ করা হয়।

(ii) গ্যাসীয় সিস্টেমে বিক্রিয়ক গ্যাস বা গ্যাসগুলির সক্রিয় ভর, ওদের নিজ নিজ অংশপ্রেষ দিয়ে প্রকাশ করা হয়। এর কারণ হল, গ্যাসীয় সিস্টেমে কোনো গ্যাসের অংশ চাপ, প্রতি একক আয়তনে উপস্থিত ওর অণু বা গ্রাম-অণুর সমানুপাতিক হয়।

(iii) কঠিন বিক্রিয়ক বা কঠিন বিক্রিয়াজাত পদার্থের ক্ষেত্রে মোলার গাঢ়ত্ব বা সক্রিয় ভর এক ধরা হয়। বিশুদ্ধ তরলের মোলার গাঢ়ত্বকেও 1 ধরা হয়।

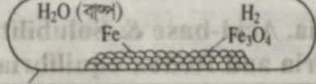
কাজেই ভরক্রিয়া সূত্রটি অন্যভাবে বলা যায়—

নির্দিষ্ট উষ্ণতায়, কোনো নির্দিষ্ট মুহূর্তে, কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ার হার, ওই মুহূর্তে উপস্থিত বিক্রিয়ক পদার্থগুলির প্রত্যেকটির মোলার গাঢ়ত্বের সমানুপাতিক হয়।

5.2. রাসায়নিক সাম্য এবং রাসায়নিক সাম্যের গতিশীল প্রকৃতি [Chemical equilibruim and dynamic nature of chemical equilibrium]

অনেক রাসায়নিক বিক্রিয়ায় দেখা যায় যে একটি বিশেষ অবস্থার মধ্যে অর্থাৎ **বন্ধ সিস্টেমে** বিক্রিয়াটি ঘটালে বিক্রিয়ক পদার্থগুলি নিজেদের মধ্যে বিক্রিয়া করে বিক্রিয়াজাত পদার্থ উৎপন্ন করে এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলি উৎপন্ন হওয়ার সাথে সাথে ওরা আবার নিজেদের মধ্যে বিক্রিয়া করে বিক্রিয়ক পদার্থগুলি উৎপন্ন করতে থাকে। এই দুই বিপরীতমুখী বিক্রিয়া একই সঙ্গে চলতে থাকায় এই জাতীয় বিক্রিয়া কখনো সম্পূর্ণ হয় না। যেমন—

বন্ধ একটা লোহার পাত্রে জল রেখে একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় উত্তপ্ত করলে স্টিম উৎপন্ন হয়। এইভাবে উৎপন্ন স্টিম লোহার সঙ্গে বিক্রিয়া করে ফেরোসোফেরিক অক্সাইড ও হাইড্রোজেন উৎপন্ন করে। উৎপন্ন H_2 আবার ফেরোসোফেরিক অক্সাইডের সঙ্গে বিক্রিয়া করে স্টিম ও লোহা উৎপন্ন করতে থাকে। কাজেই বিক্রিয়াটি উভয়দিকেই একই সঙ্গে হতে থাকে বলে বিক্রিয়াটি কখনও সম্পূর্ণ হয় না।



চিত্র 5·1

$$3Fe + 4H_2O \rightleftharpoons Fe_3O_4 + 4H_2$$

অর্থাৎ $3Fe + 4H_2O \rightarrow Fe_3O_4 + 4H_2$ (সম্মুখ বিক্রিয়া)

$Fe_3O_4 + 4H_2 \rightarrow 3Fe + 4H_2O$ (বিপরীত বিক্রিয়া)

প্রত্যেক উভমুখী বিক্রিয়ায় একটা সাম্যাবস্থার সৃষ্টি হয়। এই অবস্থায় দুটি বিপরীতমুখী বিক্রিয়ার হার সমান হয়। উপরের বিক্রিয়াটির সাম্যাবস্থায়, যে হারে লোহা ও স্টিমের বিক্রিয়ায় Fe_3O_4 এবং H_2 উৎপন্ন হতে থাকে, ঠিক সেই হারেই Fe_3O_4 এবং H_2 নিজেদের মধ্যে বিক্রিয়া করে Fe এবং H_2O উৎপন্ন করতে থাকে।

যে বিক্রিয়ায়, বিক্রিয়কগুলি নিজেদের মধ্যে বিক্রিয়া করে বিক্রিয়াজাত পদার্থ উৎপন্ন করে এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থ উৎপন্ন হওয়ার সাথে সাথে ওরা আবার নিজেদের মধ্যে বিক্রিয়া করে বিক্রিয়ক পদার্থ উৎপন্ন করতে থাকে এবং যে বিক্রিয়া, বিভিন্ন উপাদানগুলির আপেক্ষিক গাঢ়ত্ব এবং বিক্রিয়ার বিভিন্ন শর্তের উপর নির্ভর করে এক সময়ে সাম্যাবস্থায় পৌঁছাতে পারে, সেই বিক্রিয়াকে ***উভমুখী বিক্রিয়া*** *(Reversible Reaction) বলে।*

● **রাসায়নিক সাম্য সম্বন্ধে ধারণা** (Chemical equilibrium) :

ধরি, একটি উভমুখী বিক্রিয়ায়, A-এর সঙ্গে B-এর বিক্রিয়ায় C এবং D উৎপন্ন হয়। $A + B \rightleftharpoons C + D$

বিক্রিয়ার আরম্ভে A এবং B-এর গাঢ়ত্ব সর্বোচ্চ থাকে এবং C ও D এর গাঢ়ত্ব সর্বনিম্ন অর্থাৎ শূন্য থাকে (যেহেতু C এবং D তখনো উৎপন্ন হয়নি)। এরপর সময়ের সঙ্গে সঙ্গে A-এর সঙ্গে B-এর বিক্রিয়ায় C এবং D উৎপন্ন হতে থাকে—এর ফলে A এবং B-এর গাঢ়ত্ব ক্রমে কমতে থাকে এবং C ও D এর গাঢ়ত্ব ক্রমে বাড়তে থাকে। সুতরাং সম্মুখ বিক্রিয়ার হার ক্রমে কমতে থাকে আর বিপরীত বিক্রিয়ার হার ক্রমশ বাড়তে থাকে। শেষে একটা সময় আসে যখন, যে হারে A এবং B-এর বিক্রিয়া ঘটে C এবং D উৎপন্ন হতে থাকে, ঠিক সেই হারে C এবং D-এর বিক্রিয়া দ্বারা A ও B উৎপন্ন হতে থাকে। এই দুটি বিপরীতমুখী বিক্রিয়া চলতেই থাকে—এর শেষ কখনো হয় না। উভমুখী বিক্রিয়াটি এই অবস্থায় এলে বলা হয় যে বিক্রিয়াটি রাসায়নিক সাম্য অবস্থায় এসেছে। বিক্রিয়াটি এই অবস্থায় এলে বিক্রিয়ক এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থের গাঢ়ত্বের পরিবর্তন আর হয় না—স্থির থাকে।

(i) যখন তুল্য পরিমাণ H_2 এবং I_2-এর মিশ্রণকে একটি বন্ধপাত্রে রেখে *একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায়* উত্তপ্ত করা হয় (440°C)। যতক্ষণ ধরেই উত্তপ্ত করা হোক না কেন, দেখা গেছে যে মিশ্রণটির প্রায় 80% HI-তে পরিণত হয়েছে এবং অবশিষ্ট H_2 এবং I_2 বিক্রিয়া না করে মুক্ত অবস্থায় আছে। $H_2 + I_2 \rightarrow 2HI$

(ii) অপরদিকে ওই একই তাপমাত্রায় কিছু পরিমাণ HI-কে বন্ধ পাত্রে নিয়ে উত্তপ্ত করলে দেখা যায় যে অনেকক্ষণ ধরে তাপ দেওয়ার পরেও পাত্রে মাত্র 20% HI বিয়োজিত হয়ে H_2 এবং I_2-তে পরিণত হয়েছে এবং বাকি 80% HI অবিয়োজিত অবস্থায় পড়ে আছে। $2HI \rightarrow H_2 + I_2$

ব্যাখ্যা : H_2 এবং I_2-কে বন্ধ পাত্রে রেখে উত্তপ্ত করার সময় প্রথম অবস্থায় পাত্রের মধ্যে কোনো HI থাকে না। এই অবস্থায় যেহেতু H_2 এবং I_2-এর *গাঢ়ত্ব সর্বোচ্চ থাকে* তাই শুধু সম্মুখ বিক্রিয়াটি $H_2 + I_2 \rightarrow 2HI$ ঘটে এবং সম্মুখ বিক্রিয়ার বেগ সর্বোচ্চ হয়।

তারপর, বিক্রিয়াটি যতই এগোতে থাকে, HI উৎপন্ন হতে থাকে, তবে প্রথম অবস্থায় উৎপন্ন HI-এর গাঢ়ত্ব খুব কম থাকে। HI উৎপন্ন হওয়ার সাথে সাথে বিপরীত বিক্রিয়াটি আরম্ভ হয় এবং যত সময় যায় H_2 এবং I_2-এর গাঢ়ত্ব কমতে থাকে এবং HI-এর গাঢ়ত্ব বাড়তে থাকে। এর ফলে সম্মুখ বিক্রিয়ার হার কমতে থাকে। HI-এর গাঢ়ত্ব ক্রমে বাড়ার ফলে বিপরীত বিক্রিয়ার হার ক্রমে বাড়তে থাকে। $2HI \rightarrow H_2 + I_2$

এইভাবে সম্মুখ বিক্রিয়ার বেগ ক্রমশ কমতে কমতে এবং বিপরীতমুখী বিক্রিয়ার বেগ ক্রমশ বাড়তে বাড়তে একটা সময় আসে, যখন যে হারে H_2 এবং I_2 পরস্পর যুক্ত হয়ে HI উৎপন্ন করতে থাকে, ঠিক সেই হারে উৎপন্ন HI বিয়োজিত হয়ে H_2 এবং I_2 উৎপন্ন করতে থাকে। বিক্রিয়াটি এই অবস্থায় এলে বলা হয় যে বিক্রিয়াটি সাম্য অবস্থায় এসেছে। বিক্রিয়াটির এই অবস্থায়, বিক্রিয়ক H_2 এবং I_2 ও বিক্রিয়াজাত পদার্থ HI-এর গাঢ়ত্বের আর কোনো পরিবর্তন হয় না—স্থির থাকে।

রাসায়নিক সাম্যের সংজ্ঞা : ***কোনো নির্দিষ্ট উষ্ণতায় কোনো উভমুখী বিক্রিয়ার যে অবস্থায় দুটি বিপরীত বিক্রিয়া এক সঙ্গে***

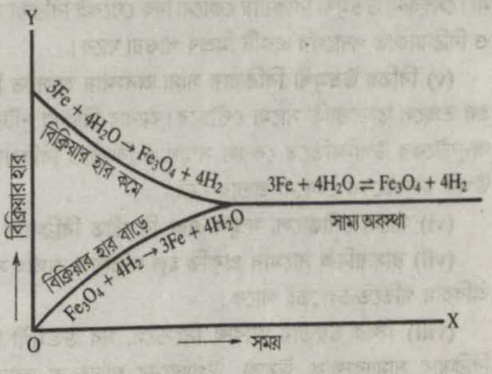
এবং একই হারে চলতে থাকে তখনই উভমুখী বিক্রিয়ায় একটি সাম্যাবস্থার সৃষ্টি হয়। বিক্রিয়াটির এই অবস্থাকে রাসায়নিক সাম্য বলা হয়।

● রাসায়নিক সাম্যের প্রকৃতি হল গতিশীল ঃ

যখন কোনো উভমুখী বিক্রিয়া সাম্যে পৌঁছায় তখন মনে হয় বিক্রিয়াটি যেন স্তব্ধ হয়ে গেছে। কারণ বহুক্ষণ পরেও দেখা যায় বিক্রিয়ক এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলির গাঢ়ত্বের কোনো পরিবর্তন হয় না। প্রকৃতপক্ষে বিক্রিয়াটি কখনো বন্ধ হয় না, কারণ এই অবস্থায় সম্মুখ বিক্রিয়ার দ্বারা যে হারে বিক্রিয়াজাত পদার্থ উৎপন্ন হতে থাকে, ঠিক সেই হারে বিপরীতমুখী বিক্রিয়া দ্বারা বিক্রিয়ক পদার্থ উৎপন্ন হতে থাকে। তাই বলা যায় যে, **উভমুখী বিক্রিয়ার সাম্য স্থির নয়—এর প্রকৃতি হল গতিশীল** (Dynamic)।

যেমন, আবদ্ধ লোহার পাত্রের মধ্যে জল রেখে উত্তপ্ত করলে প্রথম অবস্থায় গাঢ়ত্ব অনুযায়ী লোহিততপ্ত আয়রনের সঙ্গে স্টিমের কোনো একটা গতিতে বিক্রিয়া শুরু হয়। $3Fe + 4H_2O \rightarrow Fe_3O_4 + 4H_2$. তারপর যতই সময় যায় ততই আয়রন এবং স্টিমের গাঢ়ত্ব কমতে থাকে, ফলে বিক্রিয়াটির হার ক্রমশ হ্রাস পেতে থাকে; কারণ বিক্রিয়ার হার বিক্রিয়কের গাঢ়ত্বের উপর নির্ভর করে।

অন্যদিকে প্রথম অবস্থায় বিক্রিয়াজাত পদার্থ Fe_3O_4 এবং H_2 থাকে না, কিন্তু Fe এবং স্টিমের বিক্রিয়া দ্বারা ক্রমশ Fe_3O_4 এবং H_2 উৎপন্ন হতে থাকে, ফলে ওদের গাঢ়ত্ব ক্রমে বাড়তে থাকে। গাঢ়ত্ব বাড়ার সঙ্গে সঙ্গে Fe_3O_4-এর সঙ্গে H_2-এর বিপরীত বিক্রিয়া ($Fe_3O_4 + 4H_2 \rightarrow 3Fe + 4H_2O$) দ্বারা স্টিম ও আয়রন উৎপন্ন হতে থাকে। এইভাবে দুটি বিপরীতমুখী বিক্রিয়ার, একটির হার কমতে থাকে এবং অন্যটির হার বাড়তে থাকে। শেষে এমন একটা সময় আসে যখন ওই দুই বিপরীত বিক্রিয়ার হার সমান হয়। তখন ওই দুই রকম বিক্রিয়া একই সাথে সমান হারে চলতে থাকে। একেই বিক্রিয়াটির সাম্যাবস্থা বলে। বিক্রিয়াটি যখন এই অবস্থায় আসে, তখন বিক্রিয়ক (Fe এবং H_2O) এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থের (Fe_3O_4 এবং H_2) গাঢ়ত্ব স্থির থাকে। এই উভমুখী বিক্রিয়াটির সম্মুখ বিক্রিয়ার হার এবং বিপরীত বিক্রিয়ার হার কীভাবে সময়ের সঙ্গে সঙ্গে পরিবর্তিত হয়ে একসময় সাম্যাবস্থায় এসে পৌঁছায় লেখচিত্রে তা দেখানো হল। বিক্রিয়াটির এই অবস্থায়, বিক্রিয়ক এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থের গাঢ়ত্বের কোনো পরিবর্তন হয় না বলে আপাতদৃষ্টিতে মনে হয়, যেন ওদের মধ্যে কোনো রাসায়নিক পরিবর্তন হচ্ছে না—বিক্রিয়াটি যেন বন্ধ হয়ে গেছে।



চিত্র 5·2 সময়ের সঙ্গে উভমুখী বিক্রিয়ার সম্মুখ বিক্রিয়ার হার ও বিপরীত বিক্রিয়ার হারের পরিবর্তন ও সাম্যাবস্থার লেখচিত্র

রাসায়নিক বিক্রিয়াটি সাম্যাবস্থায় এলেও বিক্রিয়ক এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলি নিষ্ক্রিয় অবস্থায় থাকে না। আসলে এই অবস্থায়, সম্মুখ বিক্রিয়া দ্বারা যতগুলি Fe এবং H_2O অণু Fe_3O_4 এবং H_2 অণুতে পরিণত হতে থাকে, ঠিক তত সংখ্যক Fe_3O_4 এবং H_2 অণু পরস্পর বিক্রিয়া করে আবার Fe এবং H_2O অণু উৎপন্ন করতে থাকে। অর্থাৎ **যে হারে Fe এবং H_2O-এর বিক্রিয়ায় Fe_3O_4 এবং H_2 উৎপন্ন হতে থাকে, ঠিক সেই হারে Fe_3O_4 এবং H_2-এর বিক্রিয়া দ্বারা Fe এবং H_2O উৎপন্ন হতে থাকে। এটাই হল সাম্যাবস্থার কারণ। যেহেতু বিক্রিয়াটির সাম্যাবস্থাতেও বিক্রিয়ক এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থের অণুগুলির বিয়োজন এবং গঠন কাজ চলতে থাকে,** সেজন্য এই সাম্যকে **গতিশীল সাম্য** (Dynamic equilibrium) বলা হয়। **রাসায়নিক সাম্যাবস্থা হল আসলে গতিশীল—কোনো উভমুখী বিক্রিয়ার স্থিতি অবস্থা নির্দেশ করে মাত্র।**

● রাসায়নিক সাম্য অর্থাৎ গতিশীল সাম্যের বৈশিষ্ট্য ঃ

(i) স্থির উষ্ণতায়, কোনো উভমুখী বিক্রিয়াকে একটি **আবদ্ধ সিস্টেমে** (closed system) **ঘটালেই বিক্রিয়াটি এক সময় সাম্যে পৌঁছাবে।** যেমন—$CaCO_3 \rightleftharpoons CO_2 + CaO$, এই বিক্রিয়াটিকে **খোলা অবস্থায় ঘটালে বিক্রিয়াটি কখনো সাম্যে পৌঁছাবে না।**

(ii) কোনো নির্দিষ্ট উষ্ণতায় উভমুখী বিক্রিয়া একবার সাম্যাবস্থায় এলে, বিক্রিয়ার অবস্থার যদি কোনো পরিবর্তন না করা হয়, তাহলে ওই সাম্য অবস্থা চিরকাল অপরিবর্তিত থাকবে। এই অবস্থায় **বিক্রিয়াশীল এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলির গাঢ়ত্ব স্থির থাকে।** উষ্ণতার পরিবর্তন হলে কিন্তু সাম্যের পরিবর্তন হবে।

(iii) কোনো উভমুখী বিক্রিয়ায়, নির্দিষ্ট উষ্ণতায় বিক্রিয়ক পদার্থ নিয়ে বিক্রিয়া শুরু করলে বিক্রিয়াটি সাম্যাবস্থায় পৌঁছালে, উপাদানগুলির যে গাঢ়ত্ব থাকে, ওই উষ্ণতাতেই বিক্রিয়াজাত পদার্থ নিয়ে বিক্রিয়াটি শুরু করলে নির্দিষ্ট সময়ের পর বিক্রিয়াটি একই সাম্যাবস্থায় পৌঁছাবে। যেমন, বিশুদ্ধ NH_3-এর মধ্যে বিদ্যুৎ স্ফুলিঙ্গ সৃষ্টি করলে সাম্যাবস্থায় দেখা যায় 93% NH_3 বিয়োজিত হয়ে N_2 এবং H_2-তে পরিণত হয়েছে। $2NH_3 \rightarrow N_2 + 3H_2$। আবার 1 ঃ 3 আয়তন অনুপাতে N_2 এবং H_2-এর মিশ্রণে বিদ্যুৎ স্ফুলিঙ্গ সৃষ্টি করলে দেখা যায় মাত্র 7% গ্যাসমিশ্রণ যুক্ত হয়ে NH_3 উৎপন্ন করে—93% অবিকৃত অবস্থায় আছে। সুতরাং বলা যায় উভমুখী বিক্রিয়ার সাম্য, সম্মুখ এবং বিপরীত—এই দুই বিক্রিয়ার উপর নির্ভর করে এবং উভমুখী বিক্রিয়ায় দুই দিক থেকে একই সাম্যাবস্থায় পৌঁছান যায়।

(iv) উভমুখী বিক্রিয়ায় সম্মুখ বা বিপরীত—কোনো বিক্রিয়াই সম্পূর্ণ হয় না—অর্থাৎ বিক্রিয়ক বা বিক্রিয়াজাত পদার্থ কোনোটিই একেবারে নিঃশেষ হয়ে যায় না। যেমন, $A + B \rightleftharpoons C + D$ এই উভমুখী বিক্রিয়ায়, সাম্যাবস্থায় A-এর সঙ্গে B-এর বিক্রিয়ায় যে হারে C এবং D উৎপন্ন হতে থাকবে (সম্মুখ বিক্রিয়ায়), অন্যদিকে C-এর সঙ্গে D-এর বিক্রিয়ায় একই হারে, কম বা বেশি পরিমাণে যাই হোক না কেন A এবং B উৎপন্ন হবেই (বিপরীত বিক্রিয়া)। এর ফলে A এবং B কখনো শেষ হয়ে যাবে না। সেইজন্য উভমুখী বিক্রিয়ায় কোনো দিক থেকেই বিক্রিয়া সম্পূর্ণ হয় না। বিক্রিয়া পাত্রে যে কোনো সময় পরীক্ষা করলে বিক্রিয়ক ও বিক্রিয়াজাত পদার্থের একটি মিশ্রণ পাওয়া যাবে।

(v) বিভিন্ন উভমুখী বিক্রিয়ার সাম্য অবস্থায় আসতে বিভিন্ন সময় লাগে। যদি সম্মুখ ও বিপরীত বিক্রিয়া দুটির হার বেশি হয় তাহলে তাড়াতাড়ি সাম্যে পৌঁছবে। আবার বিক্রিয়া দুটির হার ধীর গতিতে হলে সাম্য অবস্থায় আসতে বেশি সময় লাগে। অনুঘটকের উপস্থিতিতে কেবল সম্মুখ ও বিপরীত বিক্রিয়ার হার বেড়ে গিয়ে দ্রুত সাম্যাবস্থায় পৌঁছায়, এছাড়া সাম্যাবস্থার উপর অনুঘটকের কোনো প্রভাব নেই।

(vi) সাম্যে পৌঁছালে, সম্মুখ এবং বিপরীত বিক্রিয়ার হার একই হয়।

(vii) রাসায়নিক সাম্যের প্রকৃতি হল গতিশীল অর্থাৎ সাম্যে পৌঁছালেও বিক্রিয়া কখনো বন্ধ হয় না—উভয় দিকের বিক্রিয়া অবিরাম গতিতে চলতেই থাকে।

(viii) স্থির উষ্ণতায় আবদ্ধ সিস্টেমে, সব উভমুখী বিক্রিয়ারই সাম্যাবস্থায় পৌঁছাবার একটা প্রবণতা থাকে। উভমুখী বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায়, উষ্ণতা, উপাদানের গাঢ়ত্ব বা অন্য কোনো অবস্থার পরিবর্তন ঘটালে, বিক্রিয়ক এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলি নিজেদের মধ্যে প্রয়োজনীয় পরিবর্তন ঘটিয়ে আবার সাম্যাবস্থায় পৌঁছাবার চেষ্টা করে।

(ix) সাম্যাবস্থায় মুক্ত শক্তির পরিবর্তন $\Delta G = 0$ হয়।

5.3. সাম্য ধ্রুবক (*K*)—ভরক্রিয়া সূত্রের গাণিতিক রূপ [Equilibrium constant (*K*)—Mathematical expression of Law of Mass action]

(i) ধরি, দুটি বিভিন্ন পদার্থ A এবং B-এর মধ্যে রাসায়নিক বিক্রিয়া ঘটে অন্য দুটি বিভিন্ন পদার্থ C এবং D উৎপন্ন হয়। বিক্রিয়াটি উভমুখী। ধরি, বিক্রিয়াটি স্থির তাপমাত্রায় এবং আবদ্ধ সিস্টেমে ঘটানো হয়।

$$A + B \rightleftharpoons C + D$$

বিক্রিয়ার শুরুতে C এবং D বর্তমান থাকে না। এই অবস্থায় সম্মুখ বিক্রিয়ার হার A এবং B-এর প্রত্যেকটির মোলার গাঢ়ত্বের গুণফলের সমানুপাতিক হবে। তাই বিক্রিয়ার আরম্ভে সম্মুখ বিক্রিয়ার হার খুব বেশি হয়। বিক্রিয়াটি চলতে থাকে, ফলে C এবং D উৎপন্ন হতে থাকে।

যেহেতু C এবং D উৎপন্ন হওয়ার সঙ্গে সঙ্গে ওদের উৎপন্ন করার জন্য A এবং B-এর মোলার গাঢ়ত্ব কমে যায়; সুতরাং বিক্রিয়ার আরম্ভে A এবং B-এর সম্মুখ বিক্রিয়ায় যে হার ছিল তা ক্রমে কমে আসবে।

C এবং D উৎপন্ন হওয়ার সঙ্গে সঙ্গে বিপরীত বিক্রিয়া ঘটতে শুরু করে। C এবং D-এর মোলার গাঢ়ত্ব ক্রমে বাড়তে থাকে। ফলে যেহেতু বিপরীত বিক্রিয়ার হার C ও D-এর মোলার গাঢ়ত্বের গুণফলের সমানুপাতিক—তাই এই বিপরীত বিক্রিয়ার হার

ক্রমে বাড়তে থাকে। এইভাবে এমন একটা সময় আসে যখন সম্মুখ বিক্রিয়ার হার এবং বিপরীত বিক্রিয়ার হার সমান হয় অর্থাৎ স্থির তাপমাত্রায়, একটি নির্দিষ্ট সময় পর বিক্রিয়াটি **গতিশীল সাম্যাবস্থায়** আসে।

ধরা যাক, সাম্যাবস্থায় A, B, C এবং D পদার্থগুলির সক্রিয় ভর অর্থাৎ মোলার গাঢ়ত্ব যথাক্রমে $[A]$, $[B]$, $[C]$ এবং $[D]$।

এখন, $A + B \rightarrow C + D$ **এই সম্মুখ বিক্রিয়ার হার r_1 হলে, ভরক্রিয়া সূত্রানুসারে,**

$r_1 \propto [A] \times [B]$ বা, $r_1 = K_f[A] \times [B]$ (K_f ধ্রুবক)

আবার, $C + D \rightarrow A + B$ **এই বিপরীত বিক্রিয়ার হার r_2 হলে, ভরক্রিয়া সূত্রানুসারে,**

$r_2 \propto [C] \times [D]$ বা, $r_2 = K_b[C] \times [D]$ (K_b ধ্রুবক)

K_f এবং K_b ধ্রুবক দুটি হল সমানুপাতিক ধ্রুবক; এই ধ্রুবককে বিক্রিয়ার হারের ধ্রুবক বলে।

[কোনো বিক্রিয়ার হার বলতে প্রতি একক সময় বিক্রিয়ক পদার্থের মোলার গাঢ়ত্বের হ্রাস বা বৃদ্ধিকে বুঝায়।]

বিক্রিয়াটির সাম্যাবস্থায় এই বিপরীতমুখী বিক্রিয়া দুটির হার সমান হয়। অর্থাৎ

$$r_1 = r_2 \text{ হবে}$$

$$\text{বা, } K_f[A] \times [B] = K_b[C] \times [D]$$

$$\text{বা, } \frac{K_f}{K_b} = \frac{[C] \times [D]}{[A] \times [B]} \quad \text{এখন, } \frac{K_f}{K_b} = K_c \text{ হলে,} \quad K_c = \frac{[C] \times [D]}{[A] \times [B]}$$

যেহেতু, K_f এবং K_b ধ্রুবক, অতএব K_c = ধ্রুবক। এই K_c **ধ্রুবকটিকে সাম্য ধ্রুবক** (equilibrium constant) **বলে। সাম্য ধ্রুবকের মান পদার্থের উষ্ণতার উপর নির্ভর করে।**

(ii) কোনো পদার্থের একের বেশি সংখ্যক অণু বিক্রিয়ায় অংশ নিলে সাম্য ধ্রুবকের মান ঃ

(*a*) কোনো উভমুখী বিক্রিয়া যদি $2A \rightleftharpoons C + D$ জাতীয় হয়, তবে বিক্রিয়াটিকে $A + A \rightleftharpoons C + D$ রূপে প্রকাশ করা যায়। বিক্রিয়াটির সাম্যাবস্থায় A, C এবং D-এর মোলার গাঢ়ত্ব যথাক্রমে, $[A]$ $[C]$ এবং $[D]$.

এক্ষেত্রে সম্মুখ বিক্রিয়ার হার = r_1 হলে, $r_1 \propto [A] \times [A]$ বা, $r_1 = K_f[A]^2$ (K_f ধ্রুবক)

বিপরীত বিক্রিয়ার হার = r_2 হলে, $r_2 \propto [C] \times [D]$ বা, $r_2 = K_b[C] \times [D]$ (K_b ধ্রুবক)

বিক্রিয়াটি সাম্যাবস্থায় এলে $r_1 = r_2$ হয়, অর্থাৎ $K_f[A]^2 = K_b[C] \times [D]$ বা, $\frac{K_f}{K_b} = \frac{[C] \times [D]}{[A]^2}$

$$\text{এখন, } \frac{K_f}{K_b} = K_c \text{ হলে, } K_c = \frac{[C] \times [D]}{[A]^2}$$

(*b*) অনুরূপে, কোনো উভয়মুখী বিক্রিয়া—

$mA + nB \rightleftharpoons xC + yD$ জাতীয় হলে, সাম্য ধ্রুবক $K_c = \frac{[C]^x \times [D]^y}{[A]^m \times [B]^m}$ হবে।

উপরের সমীকরণটিকে কথায় প্রকাশ করলে **রাসায়নিক সাম্যের সূত্রটি** পাওয়া যায়।

রাসায়নিক সাম্যের সূত্র ঃ *কোনো নির্দিষ্ট উষ্ণতায়, কোনো উভমুখী বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায়, বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলির মোট মোলার গাঢ়ত্বের গুণফল এবং বিকারক পদার্থগুলির মোট মোলার গাঢ়ত্বের গুণফলের অনুপাতটি একটি ধ্রুবক হয়।*

মোট মোলার গাঢ়ত্বের গুণফল বলতে সঠিক মাত্রায় উন্নীত মোলার গাঢ়ত্ব বোঝায়। যেমন, কোনো একটি বিক্রিয়কের গাঢ়ত্ব = $[A]$ হলে এবং বিক্রিয়ায় এর m গ্রাম অণু পরিমাণ অংশ নিলে, পদার্থটির মোলার গাঢ়ত্ব হবে $[A]^m$.

● **সাম্য ধ্রুবক** (Equilibrium constant) ঃ

K_c সাম্য ধ্রুবক ঃ (i) যখন বিক্রিয়ক এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলি জলে দ্রবীভূত অবস্থায় থাকে এবং যখন ওদের গাঢ়ত্বকে মোলার গাঢ়ত্ব (মোল/লিটার) রূপে প্রকাশ করা হয়, তখন সেই বিক্রিয়ার সাম্য ধ্রুবককে K_c দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

(ii) কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় এই ধ্রুবকটি হল,

বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলির মোলার গাঢ়ত্বের গুণফল এবং বিক্রিয়ক পদার্থগুলির মোলার গাঢ়ত্বের গুণফলের অনুপাত। K_c-কে সম্মুখ বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক এবং বিপরীত বিক্রিয়ার হার ধ্রুবকের অনুপাতও বলা যায়।

(iii) সাম্য ধ্রুবকের উপর উষ্ণতার প্রভাব ঃ কোনো নির্দিষ্ট উষ্ণতায় কোনো নির্দিষ্ট উভমুখী বিক্রিয়ার সাম্য ধ্রুবকের মান নির্দিষ্ট থাকে। উষ্ণতার পরিবর্তন করলে সাম্য ধ্রুবকের মান পরিবর্তিত হয়।

এটা জানা আছে যে, রাসায়নিক বিক্রিয়ার হার উষ্ণতা বৃদ্ধির সাথে সাথে বৃদ্ধি পায়, তবে বিক্রিয়ার হারের এই বৃদ্ধির পরিমাণ বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তির উপর নির্ভর করে। যেহেতু সম্মুখ বিক্রিয়া ও বিপরীত বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি বিভিন্ন হয়, তাই উষ্ণতার পরিবর্তনের সঙ্গে সম্মুখ বিক্রিয়ার হারের ধ্রুবক K_f এবং বিপরীত বিক্রিয়ার হারের ধ্রুবক K_b—উভয়ই পরিবর্তিত হয়। তবে এই পরিবর্তনের মাত্রা সমান হয় না। তাই উষ্ণতা পরিবর্তনের ফলে সাম্য ধ্রুবকের $K = K_f/K_b$-এর মান পরিবর্তিত হয়।

আবার দেখা যায়, উষ্ণতা বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে তাপগ্রাহী বিক্রিয়ায় K_b-এর চেয়ে K_f-এর বৃদ্ধি বেশি হওয়ার ফলে সাম্য ধ্রুবক K_c-এর মান বাড়ে। তাপমোচী বিক্রিয়ায় উষ্ণতা বৃদ্ধির সাথে সাথে K_b-এর মান K_f-এর চেয়ে বেশি হওয়ায় সাম্য ধ্রুবক K_c-এর মান কমে যায়। সুতরাং বলা যায়, স্থির চাপে, উষ্ণতা বৃদ্ধিতে তাপগ্রাহী বিক্রিয়া অপেক্ষাকৃত বেশি মাত্রায় ঘটে এবং উষ্ণতা হ্রাসে তাপমোচী বিক্রিয়া বেশি মাত্রায় ঘটতে থাকে।

(iv) একই উষ্ণতায় বিভিন্ন রাসায়নিক উভমুখী বিক্রিয়ার সাম্য ধ্রুবকের মান বিভিন্ন হয়।

5.4. গ্যাসীয় বিক্রিয়ার সাম্য ধ্রুবক K_p [Equilibrium constant K_p of gaseous reactions]

(i) যখন বিক্রিয়ক এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলি গ্যাসীয় হয়, তখন ওই গ্যাসীয় উভমুখী বিক্রিয়ার **সাম্য অবস্থায়, বিক্রিয়ক এবং বিক্রিয়াজাত গ্যাসগুলির আংশিক চাপকে** (Partial pressure) **পদার্থগুলির সক্রিয় ভরের পরিবর্তে ব্যবহার করা হয়, কারণ কোনো গ্যাসের সক্রিয় ভর গ্যাসটির আংশিক চাপের সমানুপাতিক।**

(ii) গ্যাসীয় উভমুখী বিক্রিয়ার সাম্য অবস্থায়, বিক্রিয়ক এবং বিক্রিয়াজাত গ্যাসগুলির আংশিক চাপকে সক্রিয় ভরের পরিবর্তে ব্যবহার করে যে সাম্য ধ্রুবক পাওয়া যায় তাকে K_p দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

যেমন, A, B, C, D—এই চারটি গ্যাসের উভমুখী বিক্রিয়াটি হল—

$$A(g) + B(g) \rightleftharpoons C(g) + D(g)$$

ধরি, কোনো নির্দিষ্ট উষ্ণতায়, বিক্রিয়াটির সাম্যাবস্থায় A, B, C এবং D গ্যাসের আংশিক চাপ যথাক্রমে P_A, P_B, P_C এবং P_D। সম্মুখ বিক্রিয়ার হার $= r_1$ এবং বিপরীত বিক্রিয়ার হার $= r_2$ হলে, ভরক্রিয়া সূত্র প্রয়োগ করে $r_1 = K_f(P_A \times P_B)$, K_f ধ্রুবক। $r_2 = K_b(P_C \times P_D)$, K_b ধ্রুবক।

সাম্যাবস্থায় $r_1 = r_2$ হয়। সুতরাং $K_f(P_A \times P_B) = K_b(P_C \times P_D)$ বা, $\frac{K_f}{K_b} = K_p$ (ধ্রুবক)

তাহলে $K_p = \frac{P_C \times P_D}{P_A \times P_B}$ হবে।

● **K_p এবং K_c-এর মধ্যে সম্পর্ক :**

ধরি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় কোনো উভমুখী বিক্রিয়া $mA(g) + nB(g) \rightleftharpoons xC(g) + yD(g)$

ধরি, বিক্রিয়াটির সাম্যাবস্থায় A, B, C এবং D-এর মোলার গাঢ়ত্ব যথাক্রমে $[A], [B], [C]$ এবং $[D]$।

$$K_c = \frac{[C]^x \times [D]^y}{[A]^m \times [B]^m}$$

এখন ধরি, সাম্যাবস্থায় A, B, C এবং D-এর আংশিক চাপ যথাক্রমে P_A, P_B, P_C এবং P_D।

ধরি, সম্মুখ বিক্রিয়ার হার $= r_1$ এবং বিপরীত বিক্রিয়ার হার $= r_2$

ভরক্রিয়া সূত্র প্রয়োগ করে, $r_1 = K_f(P_A)^m \times (P_B)^n$ (K_f = ধ্রুবক) এবং $r_2 = K_b(P_C)^x \times (P_D)^y$ (K_b = ধ্রুবক),

বিক্রিয়াটির সাম্যাবস্থায় $r_1 = r_2$ সুতরাং, $K_f(P_A)^m \times (P_B)^n = K_b(P_C)^x \times (P_D)^y$

বা, $\frac{K_f}{K_b} = \frac{(P_C)^x \times (P_D)^y}{(P_A)^m \times (P_B)^n}$ এখন $\frac{K_f}{K_b} = K_p$ হলে, $\boldsymbol{K_p = \frac{(P_C)^x \times (P_D)^y}{(P_A)^m \times (P_B)^n}}$

গ্যাস সমীকরণ থেকে পাই $PV = nRT$, যেখানে $V = n$ মোল পরিমাণ গ্যাসের আয়তন, P = চাপ, R = মোলার গ্যাস ধ্রুবক, T = পরম উষ্ণতা, n = গ্রাম-অণুর সংখ্যা।

বা, $P = \frac{n}{V} \cdot RT = CRT$, ($C = \frac{n}{V}$ = মোলার গাঢ়ত্ব)

$\therefore P_A = [A].R.T.$ $P_B = [B].R.T.$ $P_C = [C].R.T.$ $P_D = [D].R.T.$

$$\therefore K_p = \frac{(P_C)^x \times (P_D)^y}{(P_A)^m \times (P_B)^n} = \frac{\{[C].R.T.\}^x \times \{[D].R.T.\}^y}{\{[A].R.T.\}^m \times \{[B].R.T.\}^n} = \frac{[C]^x \times [D]^y \times (R.T)^{x+y}}{[A]^m \times [B]^n \times (R.T)^{m+n}} = \frac{[C]^x \times [D]^y}{[A]^m \times [B]^n} \times (R.T.)^{(x+y)-(m+n)}$$

বা, $K_p = K_c \times (R.T.)^{(x+y)-(m+n)}$

যদি $(x + y) - (m + n)$-কে Δn দ্বারা প্রকাশ করা হয় অর্থাৎ—

Δn = (বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলির অণু-সংখ্যা) – (বিক্রিয়ক পদার্থের অণু-সংখ্যা) হলে $K_p = K_c(R.T.)^{\Delta n}$ এই সমীকরণটি K_p এবং K_c-এর মধ্যে সম্পর্কটি প্রকাশ করে।

এখন বিক্রিয়ক পদার্থের মোট অণুর সংখ্যা = বিক্রিয়াজাত পদার্থের মোট অণুর সংখ্যা হলে অর্থাৎ $(m + n) = (x + y)$ হলে, $K_p = K_c\ (R.T.)^0$ হয়, বা, $K_p = K_c$ হয়।

উদাহরণ ঃ $H_2\,(g) + I_2\,(g) \rightleftharpoons 2HI\,(g)$

1 মোল 1 মোল 2 মোল

এই বিক্রিয়াটিতে—

$$K_p = \frac{(P_{HI})^2}{(P_{H_2})\times(P_{I_2})} = \frac{\{[HI]\,R.T.\}^2}{\{[H_2].R.T.\}\,\{[I_2].R.T.\}} = \frac{[HI]^2}{[H_2]\times[I_2]}\cdot\frac{(R.T.)^2}{(R.T.)^2} = \frac{[HI]^2}{[H_2]\times[I_2]} = K_c$$

অনুরূপে— **(i)** $N_2\,(g) + O_2\,(g) \rightleftharpoons 2NO\,(g)$ **(ii)** $H_2\,(g) + Cl_2\,(g) \rightleftharpoons 2HCl\,(g)$

(iii) $CO\,(g) + H_2O\,(g) \rightleftharpoons H_2\,(g) + CO_2\,(g)$ **(iv)** $CO\,(g) + NO_2\,(g) \rightleftharpoons NO\,(g) + CO_2\,(g)$

এই বিক্রিয়াগুলিতে প্রতিক্ষেত্রে, **বিক্রিয়ক পদার্থগুলির মোট মোল সংখ্যা = বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলির মোট মোল সংখ্যা** হয়। তাই এই **বিক্রিয়াগুলির প্রত্যেকটির ক্ষেত্রে** $K_p = K_c$ হবে।

(ii) কোনো উভমুখী বিক্রিয়ায়, বিক্রিয়ক পদার্থগুলির মোট মোল সংখ্যা, বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলির মোট মোল সংখ্যার সমান না হলে K_p এবং K_c-এর মান এক হবে না অর্থাৎ $K_p \neq K_c$।

উদাহরণ ঃ $N_2\,(g) + 3H_2\,(g) \rightleftharpoons 2NH_3\,(g)$

1 মোল 3 মোল 2 মোল

এই বিক্রিয়াটিতে বিক্রিয়ক পদার্থের মোট মোল সংখ্যা = 1 + 3 = 4 এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থের মোল সংখ্যা = 2.

$$\text{বিক্রিয়াটির } K_p = \frac{(P_{NH_3})^2}{(P_{N_2})\times(P_{H_2})^3} = \frac{\{[NH_3].\,R.T\}^2}{\{[N_2].R.T.\}\times\{[H_2].R.T\}^3} = \frac{[NH_3]^2}{[N_2]\times[H_2]^3}\cdot\frac{(R.T.)^2}{(R.T.)^4} = K_c \times \frac{1}{(R.T.)^2}$$

সুতরাং দেখা গেল বিক্রিয়াটিতে $K_p = K_c \times (RT)^{-2}$ হয় অর্থাৎ $K_p \neq K_c$

অনুরূপে— **(i)** $2SO_2\,(g) + O_2\,(g) \rightleftharpoons 2SO_3\,(g)$ **(ii)** $PCl_5\,(g) \rightleftharpoons PCl_3\,(g) + Cl_2\,(g)$

(iii) $2H_2\,(g) + O_2\,(g) \rightleftharpoons 2H_2O\,(g)$ **(iv)** $4HCl\,(g) + O_2\,(g) \rightleftharpoons 2H_2O\,(g) + 2Cl_2\,(g)$

(v) $2CO\,(g) + O_2\,(g) \rightleftharpoons 2CO_2$

এই উভমুখী বিক্রিয়াগুলির ক্ষেত্রে যেহেতু বিক্রিয়ক গ্যাসগুলির মোট মোল সংখ্যা বিক্রিয়াজাত গ্যাসগুলির মোট মোল সংখ্যার সমান নয়, অর্থাৎ একই চাপ ও উষ্ণতায় বিক্রিয়ক গ্যাসগুলির মোট আয়তন, বিক্রিয়াজাত গ্যাসগুলির মোট আয়তনের সমান নয়, তাই এই বিক্রিয়াগুলির প্রত্যেকটির ক্ষেত্রে $K_p \neq K_c$।

● সাম্য ধ্রুবকের বৈশিষ্ট্য (Characteristics of equilibrium constant) ঃ

সাম্য ধ্রুবকের বৈশিষ্ট্যগুলি হল—

(1) *নির্দিষ্ট উষ্ণতায় প্রত্যেক রাসায়নিক বিক্রিয়ার সাম্য ধ্রুবকের মান নির্দিষ্ট থাকে। কোনো প্রদত্ত বিক্রিয়ার K_c-এর মান (নির্দিষ্ট উষ্ণতায়) গাঢ়ত্বের উপর নির্ভর করে না।* বিক্রিয়ক এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলির গাঢ়ত্ব যাই হোক না কেন K_c-এর কোনো পরিবর্তন হয় না। *বিক্রিয়ায় কোনো কঠিন পদার্থ অংশ নিলে, ওর গাঢ়ত্বকে এক ধরা হয়।* যেমন—

$C\,(s) + CO_2\,(g) \rightleftharpoons 2CO\,(g)$ এখানে $K_c = \frac{[CO]^2}{[CO_2]}$ এক্ষেত্রে C হল কঠিন পদার্থ।

$CaCO_3\,(s) \rightleftharpoons CaO\,(s) + CO_2\,(g)$ এখানে $K_c = [CO_2]$ এক্ষেত্রে $CaCO_3$ ও CaO কঠিন।

(2) উভমুখী *বিক্রিয়ায়, সম্মুখ বিক্রিয়ার সাম্য ধ্রুবকের মান এবং বিপরীত বিক্রিয়ার সাম্য ধ্রুবকের মান, একে অপরের অনোন্যক (Reciprocal) হয়।* যেমন, $N_2\,(g) + O_2\,(g) \rightleftharpoons 2NO\,(g)$ এই বিক্রিয়াটির

(i) সম্মুখ বিক্রিয়ার $N_2\,(g) + O_2\,(g) \rightarrow 2NO\,(g)$ সাম্য ধ্রুবক $K_f = \frac{[NO]^2}{[N_2]\times[O_2]}$

(ii) বিপরীত বিক্রিয়ার $2NO\,(g) \rightarrow N_2\,(g) + O_2\,(g)$ সাম্য ধ্রুবক $K_b = \frac{[N_2]\times[O_2]}{[NO]^2}$ দেখা গেল, $K_f = \frac{1}{K_b}$

(3) *বিভিন্ন বিক্রিয়ায় K_c-এর একক বিভিন্ন হয়।*

(*a*) *কোনো বিক্রিয়ায়, বিক্রিয়ক পদার্থের মোট মোল সংখ্যা = বিক্রিয়াজাত পদার্থের মোট মোল সংখ্যা হলে, K_c-এর কোনো একক থাকে না।* যেমন—$H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$

$$\text{এখানে } K_c = \frac{[HI]^2}{[H_2] \times [I_2]} = \frac{(\text{মোল/লিটার})^2}{(\text{মোল/লিটার}) \times (\text{মোল/লিটার})} = \frac{(\text{মোল/লিটার})^2}{(\text{মোল/লিটার})^2}$$

(*b*) *বিক্রিয়ক পদার্থের মোট মোল সংখ্যা যদি বিক্রিয়াজাত পদার্থের মোট মোল সংখ্যার সমান না হয় তাহলে K_c-এর একক থাকবে।* যেমন—$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$

$$\text{এখানে } K_c = \frac{[NH_3]^2}{[N_2] \times [H_2]^3} = \frac{(\text{মোল/লিটার})^2}{(\text{মোল/লিটার}) \times (\text{মোল/লিটার})^3} = \frac{(\text{লিটার})^2}{(\text{মোল})^2}$$

(4) *কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়াকে যেভাবে সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা হয় তার উপর বিক্রিয়াটির সাম্য ধ্রুবকের মান নির্ভর করে অর্থাৎ বিক্রিয়ক এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থের তৌলের (stoichiometric) উপর সাম্য ধ্রুবকের মান নির্ভর করে।* যেমন—

$A_2 + B_2 \rightleftharpoons 2AB$ এই বিক্রিয়ায় সাম্য ধ্রুবক $K_1 = \frac{[AB]^2}{[A_2] \times [B_2]}$ বিক্রিয়াটিকে আবার এইভাবে সমীকরণ দিয়ে প্রকাশ করা যায়— $\frac{1}{2} A_2 + \frac{1}{2} B_2 \rightleftharpoons AB$ এক্ষেত্রে সাম্য ধ্রুবক $K_2 = \frac{[AB]}{[A_2]^{1/2} \times [B_2]^{1/2}}$ অর্থাৎ $K_2 = \sqrt{K_1}$

(5) কোনো উভমুখী বিক্রিয়ায় সাম্য ধ্রুবকের মান, বিক্রিয়ায় ব্যবহৃত অনুঘটক দ্বারা প্রভাবিত হয় না। কারণ অনুঘটক কেবল সম্মুখ ও বিপরীত বিক্রিয়ার হার একই মাত্রায় বৃদ্ধি করে মাত্র।

যদিও সাম্যধ্রুবকের একক নিয়ে আমরা আলোচনা করি, কিন্তু রাসায়নিক শক্তি বিজ্ঞান থেকে এটা দেখানো সম্ভব যে, কোনো সাম্য ধ্রুবকেরই একক থাকে না (K_c বা K_p)। আসলে সাম্য ধ্রুবকের মান নির্ণয়ের সময় প্রত্যেকটি সক্রিয় ভর বা আংশিক চাপকে প্রমাণ (Standard) ভর বা চাপ দিয়ে ভাগ করা অবস্থায় থাকে। সাধারণত প্রমাণ ভর হলো 1 mol/L এবং প্রমাণ চাপ হলো 1 atm.

$\alpha A + \beta B \rightleftharpoons \gamma C + \delta D$ বিক্রিয়ায় $K_p = \frac{\left(\frac{P_C}{P_0}\right)^\gamma \left(\frac{P_D}{P_0}\right)^\delta}{\left(\frac{P_A}{P_0}\right)^\alpha \left(\frac{P_B}{P_0}\right)^\beta}$; যেখানে $P_0 = 1$ atm এবং $K_c = \frac{\left(\frac{[C]}{C_0}\right)^\gamma \left(\frac{[D]}{C_0}\right)^\delta}{\left(\frac{[A]}{C_0}\right)^\alpha \left(\frac{[B]}{C_0}\right)^\beta}$; যেখানে $C_0 = 1$ mol/L

● **সাম্য ধ্রুবকের গুরুত্ব** (Importance of equilibrium constant) **:**

(1) *একটি উভমুখী বিক্রিয়ায় কোনো একদিকে বিক্রিয়াটি কতদূর এগোতে পারে, সাম্য ধ্রুবকের মান জানা থাকলে তা পরিমাপ করা যায়।* যেমন $A + B \rightleftharpoons C + D$. এই বিক্রিয়ার $K_c = \frac{[C] \times [D]}{[A] \times [B]}$, এই বিক্রিয়াটির ক্ষেত্রে—

(i) *K_c-এর মান 1-এর বেশি হলে, ($K_c > 1$) বুঝতে হবে যে বিক্রিয়াটির সাম্যাবস্থায়, A এবং B-এর চেয়ে C এবং D-এর পরিমাণ বেশি হয়।*

(ii) *K_c-এর মান 1-এর কম হলে, ($K_c < 1$) বুঝতে হবে যে বিক্রিয়াটির সাম্যাবস্থায়, A এবং B-এর চেয়ে C এবং D-এর পরিমাণ কম হবে। সুতরাং বলা যায় এক্ষেত্রে বিপরীত বিক্রিয়াটি প্রায় সম্পূর্ণ হয়েছে।*

(iii) *$K_c = 1$ হলে বুঝতে হবে, নির্দিষ্ট উষ্ণতায় $[C].[D] = [A].[B]$ অর্থাৎ বিক্রিয়ক পদার্থ—A এবং B-এর 50% C এবং D-তে পরিণত হয়েছে।*

(2) *K_c-এর মান এবং বিক্রিয়ক পদার্থের প্রাথমিক গাঢ়ত্ব জানা থাকলে বিক্রিয়াটির সাম্য অবস্থায় বিক্রিয়ক এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলির প্রত্যেকটির গাঢ়ত্ব নির্ণয় করা যায়।*

উদাহরণ : একটি পরীক্ষায় 5 litre আয়তন পাত্রে 1 মোল H_2O এবং 1 মোল CO-এর মধ্যে বিক্রিয়া ঘটানো হল।

$$H_2O(g) + CO(g) \rightleftharpoons H_2(g) + CO_2(g)$$

বিক্রিয়াটির K_cএর মান = 0·49. বিক্রিয়াটি সাম্য অবস্থায় H_2O, CO, H_2 এবং CO_2-এর গাঢ়ত্ব নির্ণয় করো।

Ans. বিক্রিয়াটিতে দেখা যায় 1 মোল H_2O এবং 1 মোল CO-এর বিক্রিয়ায় 1 মোল H_2 এবং 1 মোল CO_2 উৎপন্ন হয়। ধরি, বিক্রিয়াটিতে x মোল H_2O এবং x মোল CO বিক্রিয়া করে H_2 এবং CO_2 উৎপন্ন করেছে।

বিক্রিয়াটিতে—	$H_2O(g)$ +	$CO(g) \rightleftharpoons$	$H_2(g)$ +	$CO_2(g)$
প্রাথমিক গাঢ়ত্ব (মোলে)	⟶ 1	1	0	0
সাম্য অবস্থায় গাঢ়ত্ব (মোলে)	⟶ $(1-x)$	$(1-x)$	x	x
সাম্যে, মোল/লিটারে গাঢ়ত্ব	⟶ $\frac{1-x}{5}$	$\frac{1-x}{5}$	$\frac{x}{5}$	$\frac{x}{5}$

বিক্রিয়ায় $K_c = \frac{[H_2]\times[CO_2]}{[H_2O]\times[CO]}$ [উপরের মানগুলি বসিয়ে, $0{\cdot}49 = \frac{\frac{x}{5}\times\frac{x}{5}}{\frac{1-x}{5}\times\frac{1-x}{5}}$ বা, $x = 0{\cdot}412$]

অতএব বিক্রিয়াটির সাম্যে, বিক্রিয়ক এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলির গাঢ়ত্ব—

$H_2O = (1-0{\cdot}412) = 0{\cdot}588$ মোল, $CO = (1-0{\cdot}412) = 0{\cdot}588$ মোল, $H_2 = 0{\cdot}412$ মোল, $CO_2 = 0{\cdot}412$ মোল।

(3) *কোনো উভমুখী বিক্রিয়ায় চাপের পরিবর্তন করলে কিংবা কোনো একটি বিকারকের গাঢ়ত্ব বাড়ালে বা কমালে বিক্রিয়াটির সাম্য কীভাবে প্রভাবিত হবে, K_c-এর মান জানা থাকলে তা আগে থেকেই জানা যায়।*

● **রাসায়নিক সাম্যের প্রকার** (Types of Chemical equilibria) :

রাসায়নিক সাম্য দু'প্রকার—**(1) সমসত্ত্ব** (Homogeneous) **সাম্য**, **(2) অসমসত্ত্ব** (Heterogeneous) **সাম্য**।

(1) সমসত্ত্ব সাম্য—যে সাম্য বিক্রিয়ায় বিক্রিয়ক এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলি একই দশায় থাকে (গ্যাসীয় অথবা তরল) তাকে সমসত্ত্ব সাম্য বলে। উদাহরণ (গ্যাসীয় দশায়) : $H_2 + I_2 \rightleftharpoons 2HI$; $N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3$

(2) অসমসত্ত্ব সাম্য—যে সাম্য বিক্রিয়ায় বিক্রিয়ক এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থ দুই বা তার বেশি সংখ্যক দশায় উপস্থিত থাকে তাকে অসমসত্ত্ব সাম্য বলে। যেমন—$3Fe(s) + 4H_2O(g) \rightleftharpoons Fe_3O_4(s) + 4H_2(g)$

5.5. লা শাতেলিয়ারের নীতি [Le Chatelier's Principle]

রাসায়নিক সাম্যাবস্থা, চাপ, উষ্ণতা, বিক্রিয়ক এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থের গাঢ়ত্ব ইত্যাদি কতকগুলি কারকের উপর নির্ভর করে। সাম্যাবস্থায় এই কারকগুলির কোনো একটির পরিবর্তন করলে রাসায়নিক সাম্যের উপর তার প্রভাব কেমন হবে, একটি সাধারণ নীতি থেকে তা জানা যায়। এই নীতিটি লা শাতেলিয়ারের নীতি নামে পরিচিত।

যখন কোনো সিস্টেম (system) **সাম্যাবস্থায় থাকে, সেই অবস্থায় সাম্যাবস্থা নিয়ন্ত্রণকারী শর্ত বা কারকগুলির (চাপ, উষ্ণতা, গাঢ়ত্ব ইত্যাদি) যে কোনো একটির কোনো রকম পরিবর্তন করা হলে, সিস্টেমটি এমনভাবে নিজেকে বিন্যস্ত করতে চেষ্টা করে, যাতে ওই পরিবর্তনের প্রভাব যতদূর সম্ভব প্রশমিত হয়।**

অন্যভাবে বলা যেতে পারে, **উষ্ণতা, চাপ কিংবা সক্রিয় ভরের—যে কোনো একটির পরিবর্তন করে যদি কোনো উভমুখী রাসায়নিক বিক্রিয়ার সাম্য নষ্ট করা হয়, তাহলে বিক্রিয়াটির সাম্যের সরণ নিজে থেকেই এমন দিকে হবে যে, যেদিকে হলে ওই পরিবর্তনের প্রভাব যতদূর সম্ভব প্রশমিত হয়।**

কোনো উভমুখী বিক্রিয়ার সাম্য নষ্ট হওয়ার জন্য গাঢ়ত্বের যে পরিবর্তন হয়, তাকেই রাসায়নিক বিক্রিয়ার সাম্যের সরণ বলে। যেমন, $A + B \rightleftharpoons C + D$; বিক্রিয়ার আরম্ভে এই উভমুখী বিক্রিয়ায় A এবং B-এর গাঢ়ত্ব কমতে থাকলে এবং C ও D-এর গাঢ়ত্ব বাড়তে থাকলে বলা হয় ডানদিকে অর্থাৎ সম্মুখ বিক্রিয়ার দিকে সাম্যের সরণ হয়েছে। আবার C এবং D-এর গাঢ়ত্ব কমে A এবং B-এর গাঢ়ত্ব বাড়তে থাকলে বলা হয় যে, বামদিকে অর্থাৎ বিপরীত বিক্রিয়ার দিকে সাম্যের সরণ হয়েছে।

1. উভমুখী বিক্রিয়ায় উষ্ণতা পরিবর্তনের প্রভাব (Effect of temperature) : উভমুখী বিক্রিয়ায়, যে-কোনো একটি বিক্রিয়া তাপমোচী (Exothermic) হলে ওর বিপরীত বিক্রিয়াটি তাপগ্রাহী (endothermic) বিক্রিয়া হবে। যেমন—

$N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3$ বিক্রিয়ায়, $N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$—এই সম্মুখ বিক্রিয়াটি তাপ-উৎপাদক এবং বিপরীত বিক্রিয়াটি $2NH_3 \rightarrow N_2 + 3H_2$ হল তাপ-শোষক।

(i) উষ্ণতা বাড়ালে— এই জাতীয় উভমুখী বিক্রিয়ায় উষ্ণতা বাড়ালে বিক্রিয়ার সাম্য নষ্ট হয়, ফলে শাতেলিয়ারের নীতি অনুসারে বিক্রিয়াটির গতি এমন দিকে ঘটে যেদিকে হলে অন্তত কিছুটা বাড়তি তাপ প্রশমিত হবে। যেহেতু বিপরীত বিক্রিয়াটি তাপশোষক, তাই উষ্ণতা বাড়ালে সেই দিকে বিক্রিয়ার গতি পরিবর্তিত হয়। উপরের উভমুখী বিক্রিয়াটিতে উষ্ণতা বাড়ালে, যে বিক্রিয়াটিতে তাপ শোষিত হবে, সেইদিকে বিক্রিয়াটির সাম্যের সরণ হয় অর্থাৎ যে মুখী বিক্রিয়াটি তাপ-শোষক, তার অনুকূলে বিক্রিয়াটি হতে থাকে, ফলে NH_3 বিয়োজিত হয়ে N_2 এবং H_2 উৎপন্ন করে এবং NH_3-এর উৎপাদন কমে যায়।

(ii) উষ্ণতা কমালে— উভমুখী বিক্রিয়ায়, উষ্ণতা কমালে, বিক্রিয়াটি এমন দিকে ঘটে অর্থাৎ সাম্যের সরণ এমন দিকে ঘটে যেদিকে ঘটলে ঘাটতি তাপ পূরণ হয়। যেহেতু সম্মুখ বিক্রিয়াটি তাপমোচী অর্থাৎ তাপ মুক্ত হয়, তাই সম্মুখ বিক্রিয়াটি ঘটে ওই

ঘাটতি তাপ পূরণ করার চেষ্টা করে। এর ফলে N_2 এবং H_2 পরস্পর যুক্ত হয়ে NH_3 উৎপন্ন করতে থাকে ফলে NH_3-এর উৎপাদন বেড়ে যায়।

অতএব, **লা শাতেলিয়ারের নীতি অনুযায়ী বলা যায়,**

কোনো উভমুখী বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায়, (*a*) সম্মুখ-বিক্রিয়াটি তাপ-শোষক হলে, উষ্ণতা বাড়ালে সম্মুখ-বিক্রিয়া হতে থাকে, ফলে বিক্রিয়াজাত পদার্থের পরিমাণ বাড়ে। উষ্ণতা কমালে বিপরীত দিকে বিক্রিয়া হতে থাকে, ফলে বিক্রিয়াজাত পদার্থের পরিমাণ কমে যায়।

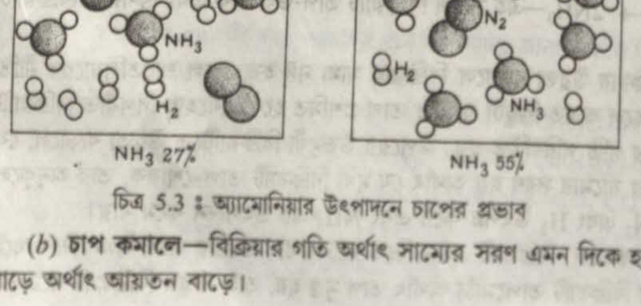
(*b*) সম্মুখ-বিক্রিয়াটি তাপমোচী হলে, উষ্ণতা বাড়ালে বিপরীত দিকে বিক্রিয়া হতে থাকে, ফলে বিক্রিয়াজাত পদার্থের পরিমাণ কমে যায়। উষ্ণতা কমালে সম্মুখ বিক্রিয়া হয় ফলে বিক্রিয়াজাত পদার্থের পরিমাণ বাড়ে।

কয়েকটি বিক্রিয়ায় উষ্ণতা পরিবর্তনের ফল নীচে দেখানো হল ঃ

উভমুখী বিক্রিয়া	উষ্ণতা বাড়ালে	উষ্ণতা কমালে
(1) $2SO_2 + O_2 \rightleftharpoons 2SO_3$ + তাপ	(*a*) সম্মুখ বিক্রিয়াটি $2SO_2 + O_2 \rightarrow 2SO_3$ হল তাপ-মোচী, তাই সম্মুখ বিক্রিয়াটি হতে সাহায্য করবে না, ফলে SO_3-এর উৎপাদন কমে যাবে। (*b*) $2SO_3 \rightarrow 2SO_2 + O_2$ এই বিপরীত বিক্রিয়াটি তাপ-শোষক। তাই এই বিপরীত বিক্রিয়াটি হতে সাহায্য করবে, ফলে SO_2 এবং O_2-এর উৎপাদন বাড়বে।	(*a*) $2SO_2 + O_2 \rightarrow 2SO_3$ এই সম্মুখ বিক্রিয়াটি তাপ-মোচী বলে সম্মুখ বিক্রিয়া হতে সাহায্য করবে, ফলে SO_3-এর উৎপাদন বেড়ে যাবে। (*b*) $2SO_3 \rightarrow 2SO_2 + O_2$ এই বিপরীত বিক্রিয়াটি তাপ-শোষক বলে এই বিক্রিয়া হতে সাহায্য করবে না, ফলে SO_2 এবং O_2-এর উৎপাদন কমে যাবে।
(2) $N_2 + O_2 \rightleftharpoons 2NO$ – তাপ	(*a*) $N_2 + O_2 \rightarrow 2NO$ বিক্রিয়াটি তাপ-শোষক, তাই এই সম্মুখ বিক্রিয়া হতে সাহায্য করবে, ফলে NO-এর উৎপাদন বেড়ে যাবে। (*b*) $2NO \rightarrow N_2 + O_2$ এই বিপরীত বিক্রিয়াটি তাপ-মোচী, তাই এই বিপরীত বিক্রিয়াটি হতে সাহায্য করবে না, ফলে, N_2 এবং O_2-এর উৎপাদন কমে যাবে।	(*a*) $N_2 + O_2 \rightarrow 2NO$ তাপ-শোষক বলে এই সম্মুখ বিক্রিয়াটি হতে সাহায্য করবে না, ফলে NO-এর উৎপাদন কমে যাবে। (*b*) $2NO \rightarrow N_2 + O_2$ এই বিপরীত বিক্রিয়াটি তাপ-উৎপাদক, তাই এই বিপরীত বিক্রিয়াটি হতে সাহায্য করবে, ফলে, N_2 এবং O_2-এর উৎপাদন বেড়ে যাবে।

2. চাপের প্রভাব (Effect of pressure) ঃ কোনো উভমুখী বিক্রিয়ায় সাম্যাবস্থায়—

(*a*) **চাপ বাড়ালে**—বিক্রিয়ার গতি এমন দিকে হবে যেদিকে হলে বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণকারী পদার্থগুলি যেন কিছুটা চাপ মুক্ত হয়। চাপ মুক্ত হওয়ার উপায় হল আয়তন কমানো এবং আয়তন কমানোর উপায় হল মোলের সংখ্যা অর্থাৎ অণুর সংখ্যা কমিয়ে দেওয়া। কাজেই চাপ বাড়ালে বিক্রিয়ার গতি অর্থাৎ সাম্যের সরণ সেইদিকে হয়, যেদিকে হলে আয়তনের হ্রাস হয়।



চিত্র 5.3 ঃ অ্যামোনিয়ার উৎপাদনে চাপের প্রভাব

যেমন $N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3$ + তাপ, এই উভমুখী বিক্রিয়াটিতে দেখা যায় একই উষ্ণতা এবং চাপে 1 আয়তন N_2-এর সঙ্গে 3 আয়তন H_2-এর বিক্রিয়ায় 2 আয়তন NH_3 উৎপন্ন হয়েছে। বিক্রিয়কের মোট আয়তন = 4 এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থের আয়তন = 2। সুতরাং সম্মুখ বিক্রিয়াটিতে চাপের হ্রাস হয়। সুতরাং শাতেলিয়ারের নীতি অনুযায়ী এই বিক্রিয়ায় চাপ বাড়লে বিক্রিয়াটি এমন দিকে হবে যেদিকে হলে চাপ মুক্ত হয়। যেহেতু সম্মুখ বিক্রিয়ায় চাপের হ্রাস হয় তাই এক্ষেত্রে সম্মুখ বিক্রিয়া হবে ফলে NH_3-এর উৎপাদন বাড়বে।

(*b*) **চাপ কমালে**—বিক্রিয়ার গতি অর্থাৎ সাম্যের সরণ এমন দিকে হয়, যেদিকে হলে মোলের সংখ্যা অর্থাৎ অণুর সংখ্যা বাড়ে অর্থাৎ আয়তন বাড়ে।

উপরের বিক্রিয়াটিতে চাপ কমালে এমন দিকে বিক্রিয়াটি হবে যেদিকে হলে ঘাটতি চাপ পূরণ হয়। যেহেতু বিপরীত বিক্রিয়ায় আয়তন বাড়ে তাই চাপ বাড়ে, তাই চাপ কমালে এক্ষেত্রে বিপরীত বিক্রিয়াটি ঘটে। ফলে NH_3 বিয়োজিত হয়ে N_2 এবং H_2-তে পরিণত হয়, অর্থাৎ NH_3-এর উৎপাদন কমে যায়।

লা শাতেলিয়ারের নীতি অনুযায়ী বলা যায়—

(i) যে বিক্রিয়ায় বিক্রিয়াজাত পদার্থের আয়তন, বিক্রিয়ক পদার্থের আয়তনের চেয়ে কম হয়, সেই বিক্রিয়ায় চাপ বাড়লে উৎপাদন বাড়ে।

(ii) বিক্রিয়াজাত পদার্থের আয়তন, বিক্রিয়ক পদার্থের আয়তনের চেয়ে বেশি হলে বিক্রিয়াটিতে চাপ কমালে উৎপাদন বাড়ে।

(iii) কোনো বিক্রিয়ায় ($N_2 + O_2 \rightleftharpoons 2NO$) আয়তন বা মোলের সংখ্যার কোনো পরিবর্তন না হলে সেই বিক্রিয়ায় চাপের কোনো প্রভাব থাকে না।

কয়েকটি উভমুখী বিক্রিয়ার চাপ পরিবর্তনের ফল নীচে দেওয়া হল ঃ

উভমুখী বিক্রিয়া	চাপ বাড়ালে	চাপ কমালে
(1) $N_2 + O_2 \rightleftharpoons 2NO$	সম্মুখ বা বিপরীত বিক্রিয়াতে আয়তনের কোনো পরিবর্তন হয় না, ফলে সাম্যের উপর চাপের কোনো প্রভাব থাকবে না।	সম্মুখ বা বিপরীত বিক্রিয়াতে আয়তনের কোনো পরিবর্তন হয় না, ফলে সাম্যের উপর চাপের কোনো প্রভাব থাকবে না।
(2) $PCl_5 \rightleftharpoons PCl_3 + Cl_2$	(*a*) $PCl_5 \rightarrow PCl_3 + Cl_2$ এই সম্মুখ বিক্রিয়াটিতে আয়তন বাড়ে, ফলে সম্মুখ বিক্রিয়া হতে সাহায্য করবে না; তাই PCl_3 এবং Cl_2-এর উৎপাদন কমে যাবে। (*b*) $PCl_3 + Cl_2 \rightarrow PCl_5$ এই বিপরীত বিক্রিয়ায় আয়তন কমে, তাই চাপ বাড়ালে এই বিক্রিয়াটি ঘটতে সাহায্য করবে; ফলে PCl_5-এর উৎপাদন বাড়বে।	(*a*) সম্মুখ বিক্রিয়াটিতে আয়তন বাড়ে, তাই বিক্রিয়াটি হতে সাহায্য করবে, ফলে PCl_3 এবং Cl_2-এর উৎপাদন বাড়বে। (*b*) বিপরীত বিক্রিয়ায় আয়তন কমে, তাই এই বিক্রিয়া ঘটতে সাহায্য করবে না, ফলে PCl_5-এর উৎপাদন কমে যাবে।

3. সক্রিয় ভর বা গাঢ়ত্বের প্রভাব (Effect of change of concentration or active mass) ঃ

কোনো নির্দিষ্ট উষ্ণতায়, উভমুখী বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় যদি ওর কোনো একটির উপাদান অতিরিক্ত যোগ করা হয়, তাহলে বিক্রিয়ার উপাদানগুলি নিজেদের মধ্যে আংশিক বিক্রিয়া করে পরস্পরের গাঢ়ত্বের পরিবর্তন এমনভাবে করে নেয় যেন সাম্য ধ্রুবক K_c -এর মান অপরিবর্তিত থাকে।

যেমন অতিরিক্ত বিক্রিয়ক যোগ করলে সেই মুহূর্তে বিক্রিয়কের গাঢ়ত্ব বেড়ে যায়। একে প্রশমিত করার জন্য অতিরিক্ত বিক্রিয়কের কিছু অংশ নিজেদের মধ্যে বিক্রিয়া করে বিক্রিয়াজাত পদার্থ উৎপন্ন করে। এর ফলে বিক্রিয়াজাত পদার্থের গাঢ়ত্ব বাড়ে। কাজেই বিক্রিয়ক পদার্থের গাঢ়ত্ব ও বিক্রিয়াজাত পদার্থের গাঢ়ত্বের অনুপাত অর্থাৎ সাম্য ধ্রুবক K_c-এর মান অপরিবর্তিত থাকে।

এখন ওই বিক্রিয়া থেকে কিছু পরিমাণ বিক্রিয়ক সরিয়ে নিলে অর্থাৎ বিক্রিয়কের গাঢ়ত্ব কমালে, বিক্রিয়াজাত পদার্থের কিছুটা বিয়োজিত হয়ে সেই ঘাটতি পুরণ করে বিক্রিয়ক পদার্থ উৎপন্ন করে এবং এইভাবে উভয়ের গাঢ়ত্বের অনুপাত K_c-এর মান স্থির রাখতে চেষ্টা করে।

$$N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3 \qquad \text{এখানে } K_c = \frac{[NH_3]^2}{[N_2]\times[H_2]^3}$$

যেমন, **(i)** উপরের বিক্রিয়ায় যদি অতিরিক্ত N_2 যোগ করা হয়, তাহলে N_2-এর গাঢ়ত্ব বাড়ে। এই অবস্থায় K_c-এর মান স্থির রাখার জন্য কিছুটা N_2, হাইড্রোজেনের সঙ্গে বিক্রিয়া করে আরো NH_3 উৎপন্ন করে। এর ফলে NH_3-এর গাঢ়ত্ব অর্থাৎ উৎপাদন বাড়ে এবং N_2 ও H_2-এর গাঢ়ত্ব কমে যায়, ফলে বিক্রিয়ক (N_2 এবং H_2) এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থের (NH_3) গাঢ়ত্বের অনুপাত অর্থাৎ K_c-এর মান অপরিবর্তিত থাকে।

(ii) উপরের বিক্রিয়ায় যদি অতিরিক্ত NH_3 যোগ করা হয় কিংবা বিক্রিয়কের—যেমন N_2-এর কিছুটা যদি সরিয়ে নেওয়া হয়, বিক্রিয়ক এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থের গাঢ়ত্বের অনুপাত K_c-এর মান বজায় রাখার জন্য বিক্রিয়াজাত পদার্থ NH_3-এর কিছুটা বিয়োজিত হয়ে N_2 এবং H_2 উৎপন্ন করে, ফলে বিক্রিয়কের গাঢ়ত্ব বেড়ে যায়।

(iii) সিস্টেম থেকে NH_3 সরিয়ে নিলে K_c-এর মান বজায় রাখার জন্য আরও N_2 এবং H_2 পরস্পরের সঙ্গে বিক্রিয়া করে NH_3 উৎপন্ন করে, ফলে সম্মুখ-বিক্রিয়ার গতি বেড়ে যায় এবং আরো NH_3 উৎপন্ন হয়।

(1)	**কোনো একটি বিক্রিয়কের গাঢ়ত্ব বৃদ্ধি করলে**	$\xrightarrow[\text{সরণ হয়}]{\text{সাম্যের}}$	**সম্মুখ দিকে।**
(2)	**কোনো একটি বিক্রিয়াজাত পদার্থের গাঢ়ত্ব বৃদ্ধি করলে**	$\xrightarrow[\text{সরণ হয়}]{\text{সাম্যের}}$	**বিপরীত দিকে।**

4. বিক্রিয়ায় নিষ্ক্রিয় পদার্থ যোগ করার প্রভাব (Effect of adding inert substance) **:**

উভমুখী বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায়, বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণকারী কোনো পদার্থের সঙ্গে নিষ্ক্রিয় কোনো পদার্থ যেমন He, Ne ইত্যাদি যোগ করলে, রাসায়নিক সাম্যের পরিবর্তন হতে পারে, আবার নাও হতে পারে। গ্যাসীয় বিক্রিয়ায় স্থির চাপ কিংবা স্থির আয়তন এই দুটি অবস্থা হতে পারে। ধরা যাক, PCl_5-এর বিয়োজন বিক্রিয়ায়— $PCl_5 \rightleftharpoons PCl_3 + Cl_2$

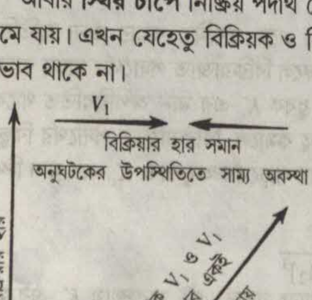
***(a)* চাপ স্থির রেখে** এর মধ্যে কিছু নিষ্ক্রিয় পদার্থ—যেমন Ne যোগ করলে মোট চাপ স্থির থাকলেও **বিক্রিয়ক এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলির আংশিক চাপ কমে যায়,** ফলে সাম্য প্রভাবিত হয়। এক্ষেত্রে বিক্রিয়াটির যেদিকে অণুর সংখ্যা বাড়ে, বিক্রিয়ার গতি সেই দিকে হয়। যেমন উপরের বিক্রিয়াটিতে সম্মুখ বিক্রিয়ায় অণুর সংখ্যা বাড়ে, তাই সাম্যের সরণ সম্মুখ বিক্রিয়ার দিকে হয়, ফলে PCl_3 এবং Cl_2-এর উৎপাদন বাড়ে। যেমন, $N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3$, এই বিক্রিয়ার চাপ স্থির রেখে যদি নিষ্ক্রিয় গ্যাস যোগ করা হয় তাহলে মোট চাপ এক থাকলেও N_2, H_2 এবং NH_3-এর অংশ-চাপ কমে যাবে, ফলে বিক্রিয়া এমন দিকে হবে যেদিকে অণুর সংখ্যা বাড়ে অর্থাৎ বিপরীত বিক্রিয়া হবে ফলে NH_3-এর উৎপাদন কমে যাবে।

***(b)* আয়তন স্থির রেখে** কিছুটা নিষ্ক্রিয় গ্যাস যোগ করলে **মোট চাপ বেড়ে যাবে,** কিন্তু উপাদানগুলির অংশ-চাপ একই থাকবে, কোনো পরিবর্তন হবে না। তাই লা. শাতেলিয়ারের নীতি অনুসারে **উপাদানগুলির অংশ-চাপ একই থাকায় K_p-এর কোনো পরিবর্তন হবে না, ফলে সাম্যের কোনো পরিবর্তন হবে না।**

$N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3$, এই বিক্রিয়ায় যদি আয়তন স্থির রেখে কিছুটা নিষ্ক্রিয় গ্যাস যোগ করা হয়, তাহলে মোট চাপ বেড়ে যাবে, কিন্তু N_2, H_2 বা NH_3-এর অংশ-চাপের কোনো পরিবর্তন হবে না, যেহেতু আয়তন একই আছে। তাই এক্ষেত্রে K_p-এর মানের কোনো পরিবর্তন হবে না অর্থাৎ সাম্যের কোনো পরিবর্তন হবে না।

(c) যে বিক্রিয়ায় বিক্রিয়ক এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থের অণুর সংখ্যা সমান থাকে ($N_2 + O_2 \rightleftharpoons 2NO$), সেই বিক্রিয়ায় কোনো নিষ্ক্রিয় পদার্থ যোগ করলে, স্থির আয়তনে কিংবা স্থির চাপে—এই দুই অবস্থার যে কোনোটিতেই সাম্যাবস্থার কোনো পরিবর্তন হবে না। কারণ **স্থির আয়তনে** যখন নিষ্ক্রিয় পদার্থ যোগ করা হয় তখন মোট চাপ বেড়ে গেলেও উপাদানগুলির অংশ-চাপ একই থাকে ফলে K_p-এর কোনো পরিবর্তন হয় না, তাই সাম্যের পরিবর্তন হয় না।

আবার **স্থির চাপে** নিষ্ক্রিয় পদার্থ যোগ করলে মোট চাপ স্থির থাকলেও বিক্রিয়ক এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলির অংশ-চাপ কমে যায়। এখন যেহেতু বিক্রিয়ক ও বিক্রিয়াজাত পদার্থের অণুর সংখ্যা সমান, তাই বিক্রিয়াটির K_p-এর উপর চাপের কোনো প্রভাব থাকে না।



চিত্র 5.4

5. অনুঘটকের প্রভাব (Influence of catalyst) **:**

লা শাতেলিয়ারের নীতিতে উভমুখী বিক্রিয়ায় অনুঘটকের উপস্থিতিকে কোনো গুরুত্ব দেওয়া হয় না। এর কারণ হল, উভমুখী বিক্রিয়ায় অনুঘটক যোগ করলে সাম্যের কোনো পরিবর্তন হয় না। **উভমুখী বিক্রিয়ার সাম্য অবস্থাকে তাড়াতাড়ি এনে দেওয়া ছাড়া অনুঘটকের অন্য কোনো প্রভাব নেই।** সাম্য অবস্থায় অনুঘটকের উপস্থিতিতে সম্মুখ ও বিপরীত বিক্রিয়ার হার (V_1 এবং V_2) সমান ভাবে বেড়ে যায় তাই সাম্যের কোনো পরিবর্তন হয় না। অনুঘটক উভয় দিকের বিক্রিয়ার হার বাড়িয়ে খুব কম সময়ে বিক্রিয়াটিকে সাম্যে পৌঁছে দেয় মাত্র।

তাপ উৎপাদক বিক্রিয়ায় উষ্ণতা বাড়ালে উৎপাদন কমে যায় আবার উষ্ণতা বাড়লে বিক্রিয়াটি খুব ধীর গতিতে হতে থাকে। তাই এক্ষেত্রে অপটিমাম উষ্ণতায় অনুঘটকের উপস্থিতি বিক্রিয়ার হার বাড়িয়ে দেয়, ফলে বিক্রিয়াটি তাড়াতাড়ি সাম্যে পৌঁছে যায়, ফলে উৎপাদন দ্রুত হয়।

● **কয়েকটি বিশেষ প্রশ্নের সমাধান ঃ**

(1) $2CO + O_2 \rightleftharpoons 2CO_2 + k\ cal$—*এই বিক্রিয়াটি সম্পূর্ণ হয় না। কী করে বিক্রিয়াটিকে সম্পূর্ণতার দিকে আনা যাবে?*

Ans. (a) সম্মুখ বিক্রিয়াটি তাপ-উৎপাদক। তাই লা শাতেলিয়ারের নীতি অনুযায়ী বিক্রিয়ার সময় উষ্ণতা কমালে সম্মুখ বিক্রিয়ার হার বেড়ে CO_2-এর উৎপাদন বাড়তে থাকবে।

(b) আবার দেখা যায়, সম্মুখ বিক্রিয়াটিতে মোলের সংখ্যা কমে যায়, অর্থাৎ চাপের হ্রাস হয়। লা শাতেলিয়ারের নীতি অনুসারে চাপ বাড়ালে সম্মুখ বিক্রিয়ার গতি বাড়বে অর্থাৎ CO_2-এর উৎপাদন বাড়বে।

(c) বিক্রিয়ক O_2-এর গাঢ়ত্ব বাড়ালে অর্থাৎ অতিরিক্ত O_2 যোগ করলে O_2-এর অংশ-চাপ বেড়ে যায়, ফলে বিক্রিয়ার সাম্যধ্রুবক স্থির রাখার জন্য সম্মুখ বিক্রিয়ার গতি বাড়ে, সেইজন্য CO_2-এর উৎপাদন বাড়ে।

(d) CO_2 উৎপন্নের সঙ্গে সঙ্গে বিক্রিয়ার পরিবেশ থেকে CO_2-কে সরিয়ে নিলে ওর গাঢ়ত্ব কমে যাবে। K_p-এর মান বজায় রাখার জন্য আরো CO এবং O_2 বিক্রিয়া করে CO_2-এর গাঢ়ত্ব বাড়াতে চেষ্টা করবে, ফলে CO_2-এর উৎপাদন বাড়বে।

সুতরাং দেখা গেল, **বিক্রিয়ার সময় উষ্ণতা কমালে, চাপ বৃদ্ধি করলে, O_2-এর গাঢ়ত্ব বাড়ালে এবং CO_2-কে পরিবেশ থেকে সরিয়ে নিলে** বিক্রিয়াটি সম্পূর্ণতার দিকে এগিয়ে যাবে।

(2) *$CaCO_3$-কে খোলা বাতাসে এবং আবদ্ধ পাত্রে উত্তপ্ত করলে বিভিন্ন ফল পাওয়া যায় কেন?*

$$CaCO_3 \rightleftharpoons CaO + CO_2$$

Ans. বিক্রিয়াটি উভমুখী। খোলা বাতাসে $CaCO_3$-কে উত্তপ্ত করলে, উৎপন্ন CO_2 বিক্রিয়ার পরিবেশ থেকে অপসারিত হয়, কাজেই বিপরীত বিক্রিয়া হয় না। শুধু সম্মুখ বিক্রিয়া হতে থাকে, ফলে বিক্রিয়াটি কখনো কখনো সাম্যে পৌঁছায় না—সম্মুখ বিক্রিয়াটি সম্পূর্ণতার দিকে এগিয়ে যায়।

এই উভমুখী বিক্রিয়াটিকে বন্ধ সিস্টেমে সম্পন্ন করলে সাম্যাবস্থায় পৌঁছানো যায়। $CaCO_3$-কে বন্ধ সিস্টেমে উত্তপ্ত করলে বিয়োজিত হয়ে CaO এবং CO_2 উৎপন্ন করে। ফলে CaO এবং CO_2-এর গাঢ়ত্ব ক্রমে বাড়তে থাকে, তখন বিপরীত বিক্রিয়াটি ঘটতে শুরু করে, অর্থাৎ উৎপন্ন CaO এবং CO_2 বিক্রিয়া করে $CaCO_3$ উৎপন্ন করতে থাকে—শেষে উভয় দিকের বিক্রিয়ার হার সমান হলে সাম্য সৃষ্টি হয়।

অনুরূপ প্রশ্ন—$3Fe + 4H_2O\ (g) \rightleftharpoons Fe_3O_4 + 4H_2$ স্থির উষ্ণতায় সাম্য ধ্রুবকের মান কী অপরিবর্তিত থাকবে যদি বিক্রিয়াটিকে (i) বন্ধ পাত্রে, (ii) খোলা পাত্রে ঘটান হয়? ব্যাখ্যা করো।

● **গাণিতিক উদাহরণ** (Numerical example) ঃ

(1) *$N_2O_4 \rightleftharpoons 2NO_2$, এই বিক্রিয়াটির সাম্য অবস্থায় 298K উষ্ণতায় N_2O_4-এর গাঢ়ত্ব = $4{\cdot}5 \times 10^{-2}$ মোল/লিটার এবং NO_2-এর গাঢ়ত্ব = $1{\cdot}61 \times 10^{-2}$ মোল/লিটার। সাম্য ধ্রুবকের মান নির্ণয় করো।*

Ans. বিক্রিয়াটির সাম্য ধ্রুবক $K_c = \dfrac{[NO_2]^2}{[N_2O_4]} = \dfrac{(1{\cdot}61 \times 10^{-2})^2}{4{\cdot}5 \times 10^{-2}} = \mathbf{5{\cdot}76 \times 10^{-2}}$

(2) *$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ উভমুখী বিক্রিয়াটির সাম্যে N_2 এবং H_2 এর আংশিক চাপ যথাক্রমে 0·8 এবং 0·4 atm. সিস্টেমটির মোট চাপ 2·8 atm. বিক্রিয়াটির K_p-এর মান নির্ণয় করো।*

Ans. সাম্যে $P_{N_2} = 0{\cdot}8$ atm, $P_{H_2} = 0{\cdot}4$ atm এবং $P_{N_2} + P_{H_2} + P_{NH_3} = 2{\cdot}8$ atm

$\therefore\ P_{NH_3} = 2{\cdot}8 - (0{\cdot}8 + 0{\cdot}4) = 1{\cdot}6$ atm. $\quad K_p = \dfrac{(P_{NH_3})^2}{(P_{N_2})(P_{H_2})^3} = \dfrac{(1{\cdot}6)^2}{(0{\cdot}8)(0{\cdot}4)^3} = 50$

(3) *একটি সাম্য বিক্রিয়ায় সম্মুখ বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক এবং বিপরীত বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক যথাক্রমে $2{\cdot}38 \times 10^{-4}$ এবং $8{\cdot}15 \times 10^{-5}$ হলে সাম্য ধ্রুবকের মান নির্ণয় করো।*

Ans. এখানে সম্মুখ বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক $(K_f) = 2{\cdot}38 \times 10^{-4}$ এবং বিপরীত বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক $(K_b) = 8{\cdot}15 \times 10^{-5}$ এখন সাম্য ধ্রুবক $K = K_f/K_b = 2{\cdot}38 \times 10^{-4}/8{\cdot}15 \times 10^{-5} = 2{\cdot}42$

● অ্যাসিড-ক্ষারক এবং দ্রাব্যতা সাম্য ●

5.6. মৃদু তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের আয়নীভবন [Ionization of weak electrolytes]

তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পদার্থ দুই রকম আছে—**তীব্র তড়িৎ-বিশ্লেষ্য** (Strong Electrolyte) এবং **মৃদু তড়িৎ-বিশ্লেষ্য** (Weak electrolyte)। তীব্র তড়িৎ-বিশ্লেষ্য জলীয় দ্রবণে সম্পূর্ণ আয়নিত অবস্থায় থাকে, সুতরাং এক্ষেত্রে সাম্য অবস্থার কথা আসেই না। অপর দিকে মৃদু তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পদার্থ জলীয় দ্রবণে খুব কম আয়নিত হয়—বেশির ভাগই অবিয়োজিত অবস্থায় অণু রূপে দ্রবণে উপস্থিত থাকে। সুতরাং এক্ষেত্রে দ্রবণে উপস্থিত অণু এবং আয়নগুলির মধ্যে একটি সাম্যাবস্থার সৃষ্টি হয়। মৃদু অ্যাসিড যেমন, CH_3COOH, $HCOOH$, H_2CO_3, H_2S, HCN এবং মৃদু ক্ষার যেমন, NH_4OH এই শ্রেণির অন্তর্ভুক্ত। অবিয়োজিত অণু এবং আয়নগুলির মধ্যে যে সাম্যাবস্থার সৃষ্টি হয় তার প্রকৃতি জানার জন্য ভরক্রিয়া সূত্র প্রয়োগ করা যায়। একটি মৃদু তড়িৎ-বিশ্লেষ্য *MA*-এর আয়নীভবনকে এভাবে প্রকাশ করা যায়—$MA\ (aq) \rightleftharpoons M^+\ (aq) + A^-\ (aq)$ এই জাতীয় সাম্যকে **আয়ন এবং অবিয়োজিত অণুর মধ্যে আয়নীয় সাম্যাবস্থা** বলে। এই সাম্যটির ক্ষেত্রে রাসায়নিক সাম্যের সূত্র প্রয়োগ করে আমরা পাই—

$$K_i = \frac{[M^+][A^-]}{[MA]} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.1)$$

K_i-কে তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের আয়নীভবন বা বিয়োজন ধ্রুবক বলে এই K_i-এর ধ্রুবকত্ব যাচাই করার জন্য বিভিন্ন তড়িৎ-বিশ্লেষ্য নিয়ে পরীক্ষা-নিরীক্ষা করা হয়েছে। নীচের টেবিলে চারটি বিভিন্ন তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের বিভিন্ন গাঢ়ত্বে *K*-এর মানগুলি দেওয়া হল।

মোল/লিটারে গাঢ়ত্ব	KCl-এর দ্রবণে K_i-এর মান	Na_2SO_4 দ্রবণে K_i-এর মান	CH_3COOH দ্রবণে K_i-এর মান	NH_4OH দ্রবণে K_i-এর মান
5×10^{-4}	$3{\cdot}6 \times 10^{-2}$	$2{\cdot}8 \times 10^{-5}$	$1{\cdot}82 \times 10^{-5}$	$1{\cdot}81 \times 10^{-5}$
1×10^{-4}	$5{\cdot}0 \times 10^{-2}$	$7{\cdot}9 \times 10^{-5}$	$1{\cdot}81 \times 10^{-5}$	$1{\cdot}80 \times 10^{-5}$
5×10^{-3}	$10{\cdot}9 \times 10^{-2}$	$374{\cdot}6 \times 10^{-5}$	$1{\cdot}81 \times 10^{-5}$	$1{\cdot}82 \times 10^{-5}$
5×10^{-2}	$36{\cdot}0 \times 10^{-2}$	1720×10^{-5}	$1{\cdot}82 \times 10^{-5}$	$1{\cdot}81 \times 10^{-5}$

উপরের টেবিলে দেখা গেল যে, **K_i-এর মান ধ্রুবক হয়, মৃদু তড়িৎ-বিশ্লেষ্যগুলির ক্ষেত্রে**—কিন্তু তীব্র তড়িৎ-বিশ্লেষ্যগুলির ক্ষেত্রে নয়। এর কারণ হল জলীয় দ্রবণে তীব্র তড়িৎ-বিশ্লেষ্যগুলি আয়ন রূপে বিরাজ করে—অণু রূপে থাকে না। কিন্তু মৃদু তড়িৎ-বিশ্লেষ্যগুলির দ্রবণে আয়নের গাঢ়ত্ব কম থাকে এবং অবিয়োজিত অণুর গাঢ়ত্ব অপেক্ষাকৃত বেশি থাকে।

যেহেতু K_i-এর ধ্রুবকত্ব তীব্র তড়িৎ-বিশ্লেষ্যগুলির ক্ষেত্রে ঘটে না, তাই (5.1) সমীকরণটি কেবল **মৃদু অ্যাসিড বা ক্ষারকগুলির বিয়োজন ধ্রুবকের মান নির্ণয়ে ব্যবহৃত হয়**। যেমন, $NH_4OH \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-$, $CH_3COOH \rightleftharpoons CH_3COO^- + H^+$

5.7. অসওয়াল্ডের লঘুকরণ সূত্র [Oswald's Law of dilution]

বিয়োজন-মাত্রা বা আয়নীভবন-মাত্রা (Degree of dissociation) **:** ***কোনো তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের মোট অণু-সংখ্যার যে ভগ্নাংশ সাম্যাবস্থায় দ্রবণের মধ্যে আয়নরূপে অবস্থান করে তাকে ওই পদার্থের বিয়োজন মাত্রা বা আয়নীভবন মাত্রা বলে।***

$$\text{আয়নীভবন-মাত্রা বা বিয়োজন-মাত্রা} = \frac{\text{তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের আয়নিত অণুর সংখ্যা}}{\text{তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের মোট অণুর সংখ্যা}}$$

মৃদু তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের বিয়োজন মাত্রার মান দ্রবণের লঘুতার উপর নির্ভর করে। কোনো দ্রবণ যত লঘু হবে, ওই দ্রবণে দ্রবীভূত তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের বিয়োজন মাত্রার মানও তত বাড়বে।

কোনো দ্রবীভূত তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের এক মোলের মধ্যে যদি α মোল দ্রবণে আয়নিত হয় তাহলে বিয়োজন মাত্রা = α হবে। যদি কোনো তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের $x\%$ দ্রবণে আয়নিত হয় তাহলে বিয়োজন মাত্রা হবে $x/100$.

'বিয়োজন-মাত্রা = α'—বলতে এই বোঝায় যে, সাম্যাবস্থায় তড়িৎবিশ্লেষ্যের প্রতি মোল থেকে α মোল আয়নিত হবে এবং $(1 - \alpha)$ মোল তড়িৎবিশ্লেষ্য অবিয়োজিত অণুরূপে দ্রবণে থাকবে।

অ্যাসেটিক অ্যাসিড একটি মৃদু তড়িৎ-বিশ্লেষ্য। একে জলে দ্রবীভূত করলে, এর অণুগুলির আংশিক বিয়োজিত হয়ে H^+ বা H_3O^+ এবং CH_3COO^- আয়নে পরিণত হয় এবং নীচের সাম্যাবস্থায় আসে।

$$CH_3COOH + H_2O \rightleftharpoons CH_3COO^- + H_3O^+$$

রাসায়নিক-সাম্যের সূত্র প্রয়োগ করে পাই, $K = \frac{[CH_3COO^-]\ [H_3O^+]}{[CH_3COOH]\ [H_2O]}$

এখন লঘু দ্রবণে $[H_2O]$ ধ্রুবক, সুতরাং K ধ্রুবক এবং $[H_2O]$-এর গুণফলও একটি ধ্রুবক—একে K_a দ্বারা প্রকাশ করা হয় এবং K_a-কে **আয়নীভবন ধ্রুবক** বা **বিয়োজন ধ্রুবক** বলা হয়।

$$K \times [H_2O] = K_a = \frac{[CH_3COO^-]\ [H_3O^+]}{[CH_3COOH]}$$

ধরি, প্রাথমিক অবস্থায় $[CH_3COOH] = c$ মোল/লিটার এবং বিয়োজন-মাত্রা $= \alpha$ হলে
সাম্য অবস্থায়, $[CH_3COO^-] = c\alpha$, $[H_3O^+] = c\alpha$ এবং অবিয়োজিত $[CH_3COOH] = c(1-\alpha)$ হবে।

	CH_3COOH + H_2O ⇌	CH_3COO^- +	H_3O^+
প্রাথমিক অবস্থায় গাঢ়ত্ব →	c	0	0
সাম্য অবস্থায় গাঢ়ত্ব →	$c(1-\alpha)$	$c\alpha$	$c\alpha$

মানগুলি (ii) সমীকরণে বসিয়ে $K_a = \frac{(c\alpha)\ (c\alpha)}{c(1-\alpha)} = \frac{c\alpha^2}{(1-\alpha)}$

মৃদু তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের ক্ষেত্রে যেহেতু α-এর মান খুবই কম সুতরাং $(1-\alpha)$-কে $= 1$ ধরা যায়।

সুতরাং আমরা পাই, $K_a = c\alpha^2$ বা, **বিয়োজন মাত্রা** $\alpha = \sqrt{\frac{K_a}{c}}$ ... ... (5.2)

যেহেতু $V =$ লিটারে একমোল তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের আয়তন, তাই $c = 1/V$, সুতরাং **বিয়োজন মাত্রা** $\alpha = \sqrt{K_aV}$ ... ... (5.3)

এই সমীকরণ থেকে **অসওয়াল্ডের লঘুকরণ সূত্রটি** পাওয়া যায়।

● **অসওয়াল্ডের লঘুকরণ সূত্র**—*নির্দিষ্ট উষ্ণতায়, কোনো মৃদু তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের বিয়োজন-মাত্রা, দ্রবণের মোলার গাঢ়ত্বের বর্গমূলের ব্যস্তানুপাতিক অথবা এক মোল দ্রাবযুক্ত দ্রবণের আয়তনের বর্গমূলের সমানুপাতিক।*

(5.2) নং এবং (5.3) নং সমীকরণ দুটি হল অসওয়াল্ডের লঘুকরণ সূত্রের গাণিতিক রূপ।

(*a*) সমীকরণ (5.2) থেকে প্রকাশ পায় যে দ্রবণের **গাঢ়ত্ব হ্রাসের** সঙ্গে সঙ্গে **বিয়োজন-মাত্রা (α)** বাড়ে। সুতরাং কোনো দ্রবণ যত লঘু হবে বিয়োজনের পরিমাণ তত বৃদ্ধি পাবে। তাই অসীম লঘুকরণে একটি মৃদু তড়িৎ-বিশ্লেষ্য, তীব্র তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের মতো আচরণ করে।

(*b*) এই সূত্রটি কেবলমাত্র মৃদু তড়িৎ-বিশ্লেষ্য অর্থাৎ মৃদু অ্যাসিড এবং মৃদু ক্ষারক ইত্যাদির ক্ষেত্রে প্রযোজ্য। কারণ তীব্র তড়িৎ-বিশ্লেষ্য, দ্রবণে সম্পূর্ণ আয়নিত হয়ে যায়—ফলে অবিয়োজিত অণু দ্রবণে থাকে না, তাই আয়ন এবং অণুর মধ্যে কোনো গতিশীল সাম্য প্রতিষ্ঠা হয় না।

উদাহরণ (1) : *0·1 M CH_3COOH-এর আয়নীভবন-মাত্রা নির্ণয় করো। CH_3COOH-এর বিয়োজন ধ্রুবক $= 1{\cdot}8 \times 10^{-5}$.*

Ans.

	CH_3COOH + H_2O ⇌	CH_3COO^- +	H_3O^+
প্রাথমিক অবস্থায় গাঢ়ত্ব →	0·1	0	0
সাম্য অবস্থায় গাঢ়ত্ব →	$0{\cdot}1(1-\alpha)$	$0{\cdot}1\alpha$	$0{\cdot}1\alpha$

$$K_a = \frac{[CH_3COO^-]\ [H_3O^+]}{[CH_3COOH]} \quad \text{বা,} \quad K_a = \frac{(0{\cdot}1\alpha)\ (0{\cdot}1\alpha)}{0{\cdot}1\ (1-\alpha)} = \frac{0{\cdot}1\alpha^2}{(1-\alpha)}$$

এখন K_a-এর মান বসিয়ে, $1{\cdot}8 \times 10^{-5} = \frac{0{\cdot}1\alpha^2}{(1-\alpha)}$ এখন CH_3COOH মৃদু তড়িৎ-বিশ্লেষ্য বলে $1 - \alpha = 1$

$\therefore 1{\cdot}8 \times 10^{-5} = 0{\cdot}1\alpha^2$ বা, $\alpha = \sqrt{\frac{1{\cdot}8 \times 10^{-5}}{0{\cdot}1}}$ বা, $\boldsymbol{\alpha = 1{\cdot}34 \times 10^{-2}}$ **মোল লি$^{-1}$**

উদাহরণ (2) ঃ ***0·01 M ফর্মিক অ্যাসিড দ্রবণের বিয়োজন-মাত্রা এবং H_3O^+ আয়নের গাঢ়ত্ব নির্ণয় করো। $K_a = 2·1 \times 10^{-4}$.***

Ans. ফর্মিক অ্যাসিড একটি মৃদু অ্যাসিড এবং আয়নিত হয়ে H_3O^+ আয়ন দেয়।

$$HCOOH + H_2O \rightleftharpoons HCOO^- + H_3O^+$$

প্রাথমিক অবস্থায় গাঢ়ত্ব → 0·01   0   0

সাম্য অবস্থায় গাঢ়ত্ব → $0·01(1-\alpha)$ $0·01\alpha$ $0·01\alpha$ α = বিয়োজন-মাত্রা

$K_a = \frac{[HCOO^-][H_3O^+]}{[HCOOH]} = \frac{(0·01\alpha)(0·01\alpha)}{0·01(1-\alpha)} = \frac{0·01\alpha^2}{(1-\alpha)}$; HCOOH একটি মৃদু অ্যাসিড, তাই $(1-\alpha) = 1$

সুতরাং $K_a = 0·01\alpha^2$ বা, $2·1 \times 10^{-4} = 0·01\alpha^2$ বা, $\alpha^2 = \frac{2 \times 10^{-4}}{0·01}$

বা, $\alpha^2 = 2·1 \times 10^{-2}$ বা, $\alpha = \sqrt{2·1 \times 10^{-2}} = 0·14$

H_3O^+ আয়নের গাঢ়ত্ব $= 0·01 \times \alpha = 0·01 \times 0·14 = 1·4 \times 10^{-3}$ মোল/লিটার।

5.8. মৃদু অ্যাসিড এবং ক্ষারকের আয়নীভবন ধ্রুবক [Ionisation constants of weak acids and bases]

(*a*) জলীয় দ্রবণে মৃদু অ্যাসিডের আয়নীভবন ধ্রুবক (K_a) ঃ

যেহেতু মৃদু অ্যাসিড জলীয় দ্রবণে সম্পূর্ণ আয়নিত হয় না, তাই অ্যাসিডগুলির শক্তির তুলনা করা হয় তাদের বিয়োজন ধ্রুবকের মাধ্যমে। যেমন, $HA(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons H_3O^+(aq) + A^-(aq)$

রাসায়নিক সাম্যের সূত্র প্রয়োগ করে $K = \frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA][H_2O]}$ জলের পরিমাণ বেশি বলে $[H_2O]$-কে ধ্রুবক ধরা হয়। অর্থাৎ $K[H_2O] = K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]}$ । অ্যাসিডের আয়নীভবন বা বিয়োজন ধ্রুবক $K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]}$

K_a-এর মান যত বেশি হবে H_3O^+ এর গাঢ়ত্ব তত বাড়ে, সুতরাং অ্যাসিডটির তীব্রতা তত বাড়ে। সুতরাং অ্যাসিডগুলির বিয়োজন **ধ্রুবকের মান জেনে বিভিন্ন অ্যাসিডের তীব্রতার তুলনা করা যায়।**

যেমন— $CH_3COOH + H_2O \rightleftharpoons CH_3COO^- + H_3O^+$ $K_a = \frac{[CH_3COO^-][H_3O^+]}{[CH_3COOH]} = \mathbf{1·80 \times 10^{-5}}$

$HCN + H_2O \rightleftharpoons CN^- + H_3O^+$ $K_a = \frac{[CN^-][H_3O^+]}{[HCN]} = \mathbf{4 \times 10^{-7}}$

যেহেতু CH_3COOH-এর K_a-এর মান HCN-এর K_a মানের চেয়ে বেশি, তাই HCN এর চেয়ে CH_3COOH বেশি তীব্র অ্যাসিড।

● **মৃদু অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণের আয়নীভবন ধ্রুবক এবং H_3O^+ অর্থাৎ H^+ আয়নের গাঢ়ত্ব নির্ণয় ঃ** কোনো অ্যাসিডের H^+ আয়নের গাঢ়ত্ব এবং আয়নীভবনের-মাত্রা নীচের পদ্ধতিতে নির্ণয় করা হয়।

ধরি, মৃদু অ্যাসিডের গাঢ়ত্ব = c মোল/লিটার এবং বিয়োজন-মাত্রা = α

সুতরাং HA অ্যাসিডটির সাম্যাবস্থায় প্রতিটি উপাদানের গাঢ়ত্ব নীচে দেখান হল—

$$HA + H_2O \rightleftharpoons A^- + H_3O^-$$

বিক্রিয়ার আরম্ভে গাঢ়ত্ব → c 0   0

সাম্যাবস্থায় গাঢ়ত্ব → $c(1-\alpha)$ $c\alpha$ $c\alpha$

$\therefore K_a = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA]} = \frac{(c\alpha)(c\alpha)}{c(1-\alpha)} = \frac{c\alpha^2}{(1-\alpha)}$ মৃদু অ্যাসিড বলে α-এর মান নগণ্য, সুতরাং $(1-\alpha) \approx 1$

$\therefore K_a = c\alpha^2$ বা, $\alpha^2 = K_a/c$ বা, $\boxed{\alpha = \sqrt{K_a/c}}$

H^+ আয়নের গাঢ়ত্ব $[H_3O^+] = c \times \alpha = c \times \sqrt{K_a/c} = \sqrt{K_a c}$ অর্থাৎ $\boxed{[H_3O^+] = \sqrt{K_a c}}$

● **মৃদু ক্ষারের জলীয় দ্রবণের আয়নীভবন ধ্রুবক এবং OH^- আয়নের গাঢ়ত্ব নির্ণয় ঃ**

$$BOH(aq) \overset{\text{জল}}{\rightleftharpoons} B^+(aq) + OH^-(aq)$$

সুতরাং আয়নীভবন ধ্রুবক $K_b = \frac{[B^+][OH^-]}{[BOH]}$ (জলের H_2O গাঢ়ত্ব ধ্রুবক)

ধরি, প্রথম অবস্থায় দ্রবণে BOH এর গাঢ়ত্ব = c মোল/লিটার, বিয়োজন-মাত্রা = α হলে, সাম্য অবস্থায়,

$$[BOH] = c(1-\alpha),\ [B^+] = c\alpha \text{ এবং } [OH^-] = c\alpha$$

$\therefore K_b = \frac{(c\alpha)(c\alpha)}{c(1-\alpha)} = \frac{c\alpha^2}{(1-\alpha)}$ মৃদু ক্ষার বলে, $(1-\alpha) \approx 1$. সুতরাং $K_b = c\alpha^2$ বা, $\alpha = \sqrt{\frac{K_b}{c}}$

এবং OH^--এর গাঢ়ত্ব $[OH^-] = c\alpha = c \times \sqrt{K_b/c} = \sqrt{K_bC}$

অ্যাসিড বা ক্ষারকের বিয়োজন ধ্রুবকের মানগুলির তুলনা করে অ্যাসিড বা ক্ষারকগুলির তীব্রতার তুলনা করা যায়। যে অ্যাসিড বা ক্ষারকের বিয়োজন ধ্রুবকের মান যত বেশি, সেই অ্যাসিডের বা ক্ষারকের তীব্রতা তত বেশি হয়। কিন্তু **পরিমাণগতভাবে তুলনা করার জন্য,** দুটি সমান মোলারিটির অ্যাসিড দ্রবণের H^+ আয়নের গাঢ়ত্ব নির্ণয় করতে হবে।

সাধারণভাবে দুটি অ্যাসিড HA (1) এবং HA (2) এর ক্ষেত্রে,

$$\frac{HA\ (1)\text{-এর তীব্রতা}}{HA\ (2)\text{-এর তীব্রতা}} = \sqrt{\frac{K_a(1)}{K_a(2)}} \text{ (একই গাঢ়ত্বের)}$$

অনুরূপে সমমোলার ক্ষারকের ক্ষেত্রে $\frac{BOH\ (1) \text{ এর তীব্রতা}}{BOH\ (2) \text{ এর তীব্রতা}} = \sqrt{\frac{K_b(1)}{K_b(2)}}$ (একই গাঢ়ত্বের)

উদাহরণ ঃ ***0·2 M মাত্রার অ্যাসেটিক অ্যাসিডের হাইড্রক্সোনিয়াম আয়নের গাঢ়ত্ব নির্ণয় করো।*** $K_a = 1·8 \times 10^{-5}$.

Ans. $CH_3COOH + H_2O \rightleftharpoons CH_3COO^- + H_3O^+$

$K_a = \frac{[CH_3COO^-][H_3O^+]}{[CH_3COOH]}$ এখন, $[CH_3COO^-] = [H_3O^+]$

এবং $[CH_3COOH] = 0·2$ M, $K_a = 1·8 \times 10^{-5}$, মানগুলি বসিয়ে

$1·8 \times 10^{-5} = \frac{[H_3O^+]^2}{0·2}$ বা, $[H_3O^+]^2 = 1·8 \times 10^{-5} \times 0·2 = \mathbf{3·6 \times 10^{-6}}$

বা, $[H_3O^+] = \sqrt{3·6 \times 10^{-6}} = 0·6 \times 10^{-3}$

সুতরাং হাইড্রক্সোনিয়াম আয়নের $[H_3O^+]$ গাঢ়ত্ব = $0·6 \times 10^{-3}$ মোল লিটার$^{-1}$।

5.9. জলের আয়নীভবন ধ্রুবক এবং আয়নীয় গুণফল [Ionisation constants and ionic product of water]

জল মৃদু তড়িৎ-বিশ্লেষ্য, তাই জলের অণুগুলির সামান্যই নীচের মতো আয়নিত হয়।

$$H_2O\ (l) + H_2O\ (l) \rightleftharpoons H_3O^+\ (aq) + OH^-\ (aq)$$

এই উভমুখী বিক্রিয়াটির সাম্যাবস্থায়, রাসায়নিক সাম্যের সূত্র প্রয়োগ করে পাই, $K = \frac{[H_3O^+][OH^-]}{[H_2O]^2}$ এই ধ্রুবক K-কে **জলের আয়নীভবন ধ্রুবক** বলে। বা, $K \times [H_2O]^2 = [H_3O^+][OH^-]$ যেহেতু জলের গাঢ়ত্ব $[H_2O]$ ধ্রুবক,

$\therefore K \times$ ধ্রুবক $= [H_3O^+] \times [OH^-]$ বা, $K_w = [H_3O^+] \times [OH^-]$ ($K \times$ ধ্রুবক $= K_w$ ধরে)

বিশুদ্ধ জলের আয়নীয় গুণফল K_w একটি ধ্রুবক। নির্দিষ্ট উষ্ণতায় এর মান নির্দিষ্ট।

K_w-এর মান উষ্ণতার পরিবর্তনের সাথে সাথে পরিবর্তিত হয়। 298 K উষ্ণতায় K_w-এর মান = 1×10^{-14} মোল^2 লিটার$^{-2}$। কোটি কোটি জলের অণুর মধ্যে মাত্র কয়েকটি জলের অণু H_3O^+ এবং OH^- রূপে আয়নিত হয়। তাই জলে অবিয়োজিত জলের অণুর গাঢ়ত্ব $[H_2O]$, প্রায় স্থির থাকে।

জলের আয়নীয় গুণফল K_w ঃ H_3O^+ আয়ন এবং OH^- আয়নের অথবা H^+ আয়ন ও OH^- আয়নের মোলার গাঢ়ত্বের গুণফলকে আয়নীয় গুণফল বলে।

$K_w = [H_3O^+] \times [OH^-]$ এখন যেকোনো আয়নীভবন মাত্রায় $[H_3O^+] = [OH^-]$

298 K উষ্ণতায় $K_w = [H_3O^+] \times [OH^-] = 10^{-14}$ বা, $[H_3O^+][H_3O^+] = 10^{-14}$

বা, $[H_3O^+]^2 = 10^{-14}$ বা, $[H_3O^+] = \sqrt{10^{-14}} = \mathbf{10^{-7}}$ **মোল/লিটার।**

সুতরাং বিশুদ্ধ জলের $[H_3O^+] = [OH^-] = 10^{-7}$ M

জলের আয়নীয় গুণফল K_w-এর উপর উষ্ণতার প্রভাব ঃ সব উষ্ণতাতে $[H_3O^+]$ এবং $[OH^-]$ সমান থাকলেও, বিভিন্ন উষ্ণতায় K_w-এর মান পরিবর্তিত হয়। উষ্ণতা বৃদ্ধির সাথে সাথে জলের বিয়োজন মাত্রা বেড়ে যায় ফলে $[H_3O^+]$ এবং $[OH^-]$ বৃদ্ধি পায়। তাই আয়নীয় গুণফলও বৃদ্ধি পায়।

আয়নীয় গুণফল এবং দ্রাব্যতা গুণফলের পার্থক্য ঃ দ্রাব্যতা গুণফল হল, কোনো **সম্পৃক্ত দ্রবণে উপস্থিত আয়নগুলির মোলার গাঢ়ত্বের গুণফল**, অপরদিকে **আয়নীয় গুণফল হল যেকোনো দ্রবণে উপস্থিত আয়নগুলির মোলার গাঢ়ত্বের গুণফল।**

জলের সঙ্গে অ্যাসিড যোগ করলে $[H_3O^+]$ এবং $[OH^-]$-এর পরিবর্তন ঃ বিশুদ্ধ জলের সঙ্গে কয়েক ফোঁটা HCl যোগ করলে দ্রবণে $[H_3O^+]$ বৃদ্ধি পায়। সুতরাং শাতেলিয়ারের নীতি অনুযায়ী সাম্যের সরণ বিপরীতমুখী হবে, অর্থাৎ আরও বেশি পরিমাণ H_3O^+, OH^- এর সঙ্গে যুক্ত হয়ে অবিয়োজিত জলের অণুতে পরিণত হতে থাকবে, যাতে K_w-এর মান অপরিবর্তিত থাকে। এই অবস্থায় OH^- এর গাঢ়ত্ব $[OH^-] = K_w/[H_3O^+]$ হবে।

জলের সঙ্গে ক্ষারক যোগ করলে $[H_3O^+]$ এবং $[OH^-]$-এর পরিবর্তন ঃ বিশুদ্ধ জলের সঙ্গে কয়েক ফোঁটা NaOH দ্রবণ যোগ করলে দ্রবণে $[OH^-]$ বৃদ্ধি পায়। সুতরাং শাতেলিয়ারের নীতি অনুযায়ী সাম্যের সরণ বিপরীত দিকে ঘটবে। সুতরাং K_w-এর মান অপরিবর্তিত রাখার জন্য OH^- আয়ন H_3O^+ আয়নের সঙ্গে যুক্ত হয়ে অবিয়োজিত H_2O অণুতে পরিণত হতে থাকে অর্থাৎ সাম্যের সরণ বিপরীত দিকে হয়। $[H_3O^-] = K_w/[OH^-]$ হবে।

সুতরাং ক্ষারকীয় দ্রবণে $[H_3O^+]$-এর চেয়ে $[OH^-]$ বেশি হয়।

অ্যাসিড দ্রবণে	$[H_3O^+]$	$>$	$[OH^-]$	হয়
ক্ষারকীয় দ্রবণে	$[H_3O^+]$	$<$	$[OH^-]$	হয়
প্রশম দ্রবণে	$[H_3O^+]$	$=$	$[OH^-]$	হয়

উদাহরণ ঃ ***(a) 0·01 M NaOH দ্রবণে এবং (b) 0·1 M HNO_3 দ্রবণে $[H_3O^+]$ এবং $[OH^-]$-এর মান নির্ণয় করো।***

***Ans.* (*a*)** NaOH জলীয় দ্রবণে সম্পূর্ণ আয়নিত হয় $NaOH \rightarrow Na^+ + OH^-$

সুতরাং $[Na^+] = [OH^-]$ হয়। এখানে $[NaOH] = 0{\cdot}01\ M = 1 \times 10^{-2}$ মোল/লি. $\therefore [OH^-] = 1 \times 10^{-2}$ মোল/লি.

এখন $K_w = [H_3O^+][OH^-]$ বা, $[H_3O^+] = K_w/[OH^-] = \dfrac{1 \times 10^{-14}}{1 \times 10^{-2}} = 1 \times 10^{-12}$ মোল/লি.

সুতরাং দ্রবণে $[OH^-] = 1 \times 10^{-2}$ মোল/লি এবং $[H_3O^+] = 1 \times 10^{-12}$ মোল/লি.।

(*b*) HNO_3 তীব্র অ্যাসিড তাই সম্পূর্ণ আয়নিত হয়। $HNO_3 + H_2O \rightarrow H_3O^+ + NO_3^-$

অর্থাৎ $[H_3O^+] = [HNO_3] = 0.1\ M = 1 \times 10^{-1}$ মোল/লিটার

এখন আয়নীয় গুণফল $K_w = [H_3O^+][OH^-]$ বা, $[OH^-] = \dfrac{K_w}{[H_3O^+]} = \dfrac{1 \times 10^{-14}}{1 \times 10^{-1}} = 1 \times 10^{-13}$ মোল/লিটার।

5.10. pH স্কেল—মৃদু অ্যাসিড ও ক্ষারের জলীয় দ্রবণের pH [The pH scale—pH of an aqueous solution of acids and bases]

হাইড্রোজেন আয়নের গাঢ়ত্বকে $[H_3O^+]$ প্রকাশ করার একটি সুবিধাজনক স্কেল হল pH স্কেল। pH এবং pOH হল দ্রবণে যথাক্রমে H^+ এবং OH^- আয়নের গাঢ়ত্বকে প্রকাশ করার জন্য দুই রকম সুবিধাজনক স্কেল। সাধারণত লঘু দ্রবণে H^+ এবং OH^- আয়নের গাঢ়ত্বকে গ্রাম-তুল্যাঙ্ক/লিটার অথবা গ্রাম মোল/লিটার এককে প্রকাশ করা হয়। একটি দ্রবণ আম্লিক, অথবা ক্ষারীয় বা প্রশম হতে পারে তবে সবক্ষেত্রেই $K_w = [H_3O^+][OH^-] = 1 \times 10^{-14}$ —এই সমীকরণটি প্রযোজ্য হয়। যেমন একটি দ্রবণের $[H_3O^+]$ আয়নের গাঢ়ত্ব $= 1 \times 10^{-5}$M হলে ওই দ্রবণে $[OH^-]$ এর গাঢ়ত্ব হবে $[14 - 5] = 9$ অর্থাৎ $[OH^-] = 1 \times 10^{-9}$M হবে। এখন 2×10^5M অ্যাসিডের গাঢ়ত্বকে পুরানো রীতি অনুযায়ী লিখে প্রকাশ করলে 0·00002 M হতো যা কাজে খুব অসুবিধার সৃষ্টি করতো।

লঘু দ্রবণে H^+ আয়নের গাঢ়ত্বকে প্রকাশ করার সুন্দর ও সহজ উপায় সোরেনসেন আবিষ্কার করেন।

তার মতে, $pH = -\log [H_3O^+] = \log \dfrac{1}{[H_3O^+]}$ বা, $[H_3O^+] = 10^{-pH}$

কোনো দ্রবণে, হাইড্রোজেন আয়নের মোল/লিটার গাঢ়ত্বের $[H_3O^+]$ নেগেটিভ লগ্যারিদ্‌মের মানকে ওই দ্রবণের pH বলে।

অর্থাৎ কোনো দ্রবণের হাইড্রোজেন আয়নের গাঢ়ত্বের লগ্যারিদ্‌মের মানকে বিপরীত চিহ্নযুক্ত করলে যে সংখ্যা পাওয়া যায় তাই হল দ্রবণটির pH.

জলীয় দ্রবণে হাইড্রোজেন আয়নের গাঢ়ত্ব 1M থেকে 1×10^{-14}M-এর মধ্যে থাকে, তাই এই দ্রবণগুলির pH-এর মান 0 থেকে 14 পর্যন্ত হয়। সুতরাং দেখা যায় যে কোনো দ্রবণের অম্লত্বকে $[H^+]$ রূপে প্রকাশ করার চেয়ে pH-এ প্রকাশ করা বেশি সুবিধাজনক।

(i) **প্রশম দ্রবণের pH = 7,** যেমন, বিশুদ্ধ জলের pH = 7

(ii) **আম্লিক দ্রবণের pH-এর মান 7-এর কম হয়।**

(iii) **ক্ষারীয় দ্রবণের pH-এর মান 7-এর বেশি হয়।**

$[H_3O^+]$	10^0	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}	10^{-12}	10^{-13}	10^{-14}
pH→	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

← আম্লিক চরিত্র বৃদ্ধি —— ↑ প্রশম —— ক্ষারীয় চরিত্র বৃদ্ধি →

অনুরূপে কোনো দ্রবণে OH^- আয়নের মোলার গাঢ়ত্বের নেগেটিভ লগ্যারিদ্‌মের মানকে ওই দ্রবণের pOH বলে।

$pOH = \log [OH^-]$ বা, $[OH^-] = 10^{-pOH}$

আমরা জানি $[H_3O^+][OH^-] = K_w = 10^{-14}$,

এখন উভয়পক্ষে log নিয়ে পাই, $\log [H_3O^+] + \log [OH^-] = \log K_w = \log 10^{-14}$

বা, $-\log [H_3O^+] - \log [OH^-] = -\log K_w = -[-14 \log 10]$

বা, $pH + pOH = pK_w = 14$ অর্থাৎ, $pH + pOH = 14$

প্রশম দ্রবণে $pH = pOH = 7$ অর্থাৎ $[H_3O^+] = [OH^-] = \mathbf{10^{-7}}$ গ্রাম আয়ন/লি.

● **একটি মৃদু অ্যাসিড এবং তার কনজুগেট ক্ষারকের আয়নীভবন ধ্রুবকের মধ্যে সম্পর্ক নির্ণয়।**

HF একটি মৃদু অ্যাসিড। $\underset{\text{অ্যাসিড–1}}{HF} + \underset{\text{ক্ষারক–2}}{H_2O} \rightleftharpoons \underset{\text{অ্যাসিড–2}}{H_3O^+} + \underset{\text{ক্ষারক–1}}{F^-}$

মৃদু অ্যাসিড HF-এর কন্‌জুগেট ক্ষারক হল F^- আয়ন। সুতরাং $K_a = \dfrac{[H_3O^+][F^-]}{[HF]}$ ... ... (i)

$F^- + H_2O \rightleftharpoons OH^- + HF$ সুতরাং $K_b = \dfrac{[OH^-][HF]}{[F^-]}$ ... ... (ii)

সমীকরণ (i)-কে (ii) দ্বারা গুণ করে,

$$K_a \times K_b = \frac{[H_3O^+][F^-]}{[HF]} \times \frac{[OH^-][HF]}{[F^-]} = [H_3O^+] \times [OH^-] = K_w$$

সুতরাং $K_a \times K_b = K_w$ উভয়পক্ষে log নিয়ে $\log (K_a \times K_b) = \log K_w$ বা, $\log K_a + \log K_b = \log K_w$

বা, $-\log K_a - \log K_b = -\log K_w$ বা, $pK_a + pK_b = pK_w$

● **$[H_3O^+]$, $[OH^-]$ এবং pH সংক্রান্ত গাণিতিক উদাহরণ ঃ**

[A] দ্রবণের মাত্রা দেওয়া থাকলে দ্রবণে উপস্থিত $[H_3O^+]$ এবং $[OH^-]$-এর গাঢ়ত্ব নির্ণয় ঃ

উদাহরণ (1) ঃ *(i) 0·05 N HCl দ্রবণে এবং (ii) 0·002 N NaOH দ্রবণে 25°C উষ্ণতায় H_3O^+ এবং OH^- আয়নের গাঢ়ত্ব নির্ণয় করো।*

Ans. (i) HCl নীচের মতো সম্পূর্ণ আয়নিত হয়— $HCl + H_2O \rightarrow H_3O^+ + Cl^-$

এখন $[HCl] = [H_3O^+] = 0·05\ N = 5 \times 10^{-2}M$ (যেহেতু HCl একক্ষারিক)

আমরা জানি $[H_3O^+] \times [OH^-] = K_w = 10^{-14}$ বা, $[OH^-] = \dfrac{K_w}{[H_3O^+]}$

$$\text{বা, } [OH^-] = \frac{K_w}{[H_3O^+]} = \frac{10^{-14}}{5 \times 10^{-2}} = \mathbf{2 \times 10^{-13}M}$$

(ii) NaOH সম্পূর্ণ আয়নিত হয়— $NaOH \rightarrow Na^+ + OH^-$

$[OH^-] = [NaOH] = 0{\cdot}002\ N = 0{\cdot}002\ M = 2 \times 10^{-3}$ [∵ NaOH এর অম্লগ্রাহিতা = 1]

$[H_3O^+] \times [OH^-] = 10^{-14}$ বা, $[H_3O^+] = \frac{K_w}{[OH^-]} = \frac{10^{-14}}{2 \times 10^{-13}} = \mathbf{5 \times 10^{-13}}$

[B] সম্পূর্ণ আয়নিত হয় এমন অ্যাসিড বা ক্ষারের অর্থাৎ তীব্র অ্যাসিড ও ক্ষারের pH নির্ণয় ঃ

(2) (i) *10^{-3} মোলার HNO_3-এর pH নির্ণয় করো। (ii) 0·002 N H_2SO_4-এর pH নির্ণয় করো।*

Ans. (i) HNO_3 সম্পূর্ণ আয়নিত হয় $HNO_3 + H_2O \rightarrow H_3O^+ + NO_3^-$

$[H_3O^+] = [HNO_3] = 10^{-3}$ M দেওয়া আছে।

$pH = -\log [H_3O^+] = -\log 10^{-3} = -[-3 \log 10] = \mathbf{3}$

(ii) H_2SO_4 সম্পূর্ণ আয়নিত হয় $H_2SO_4 + 2H_2O \rightarrow 2H_2O^+ + SO_4^{2-}$

$[H_3O^+] = 2[H_2SO_4] = 0{\cdot}002$ N (H_2SO_4 এর তুল্যাঙ্ক = 49) = $0{\cdot}002 \times 49 = 0{\cdot}098$ g/litre

$2[H_3O^+] = \frac{0{\cdot}098}{98}$ মোল/লিটার = 0·01 M (H_2SO_4-এর আণবিক ওজন = 98)

$[H_3O^+] = 2\,[H_2SO_4] = 0{\cdot}001\ M = 1 \times 10^{-3}\ M$

$pH = -\log [H_3O^+] = -\log (1 \times 10^{-3}) = -[-3 \log 10] = \mathbf{3.}$

(3) *এক কাপ কালো চা-এর মধ্যে $[H_3O^+] = 1{\cdot}5 \times 10^{-5}$ M. চায়ের pH নির্ণয় করো। এই চা-এর দ্রবণটি আম্লিক না ক্ষারীয় হবে?*

Ans. দেওয়া আছে $[H_3O^+] = 1{\cdot}5 \times 10^{-5}$ M

$pH = -\log [H_3O^+] = -\log (1{\cdot}5 \times 10^{-5}) = -\log 1{\cdot}5 + 5 \log 10 = -0{\cdot}176 + 5 = \mathbf{4{\cdot}824.}$

যেহেতু চা-এর pH 7-এর কম হয়, সুতরাং চা আম্লিক হবে।

(4) *একটি দ্রবণের 100 ml এর মধ্যে 0·365 g HCl আছে। দ্রবণটির pH কত হবে?*

Ans. যেহেতু HCl তীব্র অ্যাসিড সুতরাং দ্রবণে সম্পূর্ণ আয়নিত হবে। $HCl + H_2O \rightarrow [H_3O^+] + [Cl^-]$

$[H_3O^+] = [HCl] = 3{\cdot}65$ g/litre $= \frac{3{\cdot}65}{36{\cdot}5} = 0{\cdot}1\ M = 10^{-1}\ M$

সুতরাং $pH = -\log [H_3O^+] = -\log 10^{-1} = 1$ অ্যাসিডটির **pH = 1.**

[C] সম্পূর্ণ আয়নিত হয় না এমন অ্যাসিড এবং ক্ষার দ্রবণের pH নির্ণয় ঃ

(5) *0·02 N অ্যাসেটিক অ্যাসিডের pH নির্ণয় করো। $K = 1{\cdot}8 \times 10^{-5}$.*

Ans. CH_3COOH এভাবে আয়নিত হয়—$CH_3COOH + H_2O \rightleftharpoons CH_3COO^- + H_3O^+$

$K_a = \frac{[CH_3COO^-][H_3O^+]}{[CH_3COOH]}$ কিন্তু $[CH_3COO^-] = [H_3O^+]$

সুতরাং $K_a = \frac{[H_3O^+]^2}{[CH_3COOH]}$ (যেহেতু 1টি CH_3COOH অণু 1টি CH_3COO^- এবং 1টি H_3O^+ আয়ন দেয়)

বা, $[H_3O^+]^2 = K_a\,[CH_3COOH]$ বা, $[H_3O^+] = \sqrt{K_a\,[CH_3COOH]}$

দেওয়া আছে $[CH_3COOH] = 0{\cdot}02\ M = 2 \times 10^{-2}$ M এবং $K_a = 1{\cdot}8 \times 10^{-5}$

মানগুলি বসিয়ে, $[H_3O^+] = \sqrt{1{\cdot}8 \times 10^{-5} \times 2 \times 10^{-2}} = \sqrt{36 \times 10^{-8}}$ বা, $[H_3O^+] = 6 \times 10^{-4}$ g আয়ন/লিটার

$pH = -\log [H_3O^+] = -\log (6 \times 10^{-4}) = -\log 6 + 4 \log 10 = -0.7781 + 4 = \mathbf{3{\cdot}22}$

[D] অ্যাসিড ও ক্ষারকের মিশ্র দ্রবণের pH নির্ণয় ঃ

(6) *pH = 3 বিশিষ্ট 100 ml দ্রবণের সঙ্গে pH = 4 বিশিষ্ট 400 ml দ্রবণে মেশালে মিশ্র দ্রবণটির pH নির্ণয় করো।*

Ans. pH = 3 বিশিষ্ট 100 ml দ্রবণের H^+ আয়নের গাঢ়ত্ব $= \frac{10^{-3} \times 100}{1000} = 10^{-4}$ মোল

pH = 4 বিশিষ্ট 400 ml দ্রবণে H^+ এর গাঢ়ত্ব $= \frac{10^{-4} \times 400}{1000} = 4 \times 10^{-5}$ মোল

H^+ আয়নের মোট গাঢ়ত্ব $= 10^{-4} + 4 \times 10^{-5} = 10^{-4}(1 + 0{\cdot}4) = 1{\cdot}4 \times 10^{-4}$

দ্রবণের মোট আয়তন = (100 + 400) ml = 500 ml

$[H^+] = \frac{1.4 \times 10^{-4} \times 1000}{500} = 2.8 \times 10^{-4}$ M

$pH = -\log [H^+] = -\log (2.8 \times 10^{-4}) = -\log 2.8 + 4 \log 10 = -0.4471 + 4 =$ **3.55**

(7) ***100 ml 0.1 N HCl দ্রবণের সঙ্গে 8 ml 1 N NaOH দ্রবণ মেশানোর ফলে উৎপন্ন দ্রবণটির pH কত হবে?***

Ans. 100 ml 0.1 N HCl ≡ 100 × 0.1 ml N HCl ≡ 10 ml N HCl

8 ml 1 N NaOH ≡ 8 × 1 ml N NaOH ≡ 8 ml N NaOH

8 ml N NaOH, 8 ml N HCl-কে প্রশমিত করবে। সুতরাং বাড়তি HCl = (10 – 8) = 2 ml N HCl,

মিশ্রণের মোট আয়তন = 100 ml + 8 ml = 108 ml. ধরি, এই দ্রবণের মাত্রা = N_1.

সুতরাং নর্মালিটি সমীকরণ থেকে পাই, $108 \times N_1 = 2 \times N$ বা, $N_1 = \frac{2 \times N}{108} = 0.0185$ M $= 1.85 \times 10^{-2}$ M

$pH = -\log [H^+] = -\log (1.85 \times 10^{-2}) = -0.267 + 2 =$ **1.73**

[E] প্রদত্ত pH-এর মান থেকে H^+ আয়ন বা OH^- আয়নের গাঢ়ত্ব অথবা আয়নীভবন ধ্রুবকের (K_a বা K_b) মান নির্ণয় :

(8) ***1 লিটার দ্রবণে কত গ্রাম NaOH যোগ করলে দ্রবণটির pH = 12 হবে?***

Ans. আমরা জানি, $pH = -\log [H_3O^+]$ বা, $\log [H_3O^+] = -pH = -12$ বা, $\log [H_3O^+] = -12$

বা, $[H_3O^+] = 10^{-12}$ গ্রাম আয়ন/লিটার

আমরা জানি, $[H_3O^+][OH^-] = K_w = 10^{-14}$. সুতরাং $[OH^-] = \frac{K_w}{[H_3O^+]}$ বা, $[OH^-] = \frac{10^{-14}}{10^{-12}} = 10^{-2}$ g ion/litre.

যেহেতু NaOH তীব্র তড়িদ্‌-বিশ্লেষ্য, তাই সম্পূর্ণ আয়নিত হয়, $NaOH \rightarrow Na^+ + OH^-$

$[OH^-] = [NaOH] = 10^{-2}$ M, NaOH এর আণবিক গুরুত্ব = 40

সুতরাং প্রতি লিটার দ্রবণে দ্রবীভূত NaOH-এর পরিমাণ = $10^{-2} \times 40 =$ **0.4 g.**

(9) ***10^{-10} M NaOH দ্রবণের pH নির্ণয় করো।***

Ans. NaOH দ্রবণ থেকে প্রাপ্ত $[OH^-] = 10^{-10}$ M, আবার, H_2O থেকে $[OH^-] = 10^{-7}$ M

মোট $[OH^-] = 10^{-10} + 10^{-7} = 10^{-7}(10^{-3} + 1) = 1.001 \times 10^{-7}$ M

$\therefore pOH = -\log 1.001 \times 10^{-7} = -\log 1.001 + 7 \log 10 = -0.0004 + 7 = 6.9996.$

সুতরাং pH = 14 – 6.9996 = **7.0004**

[F] অতি লঘু অ্যাসিড বা ক্ষারের pH নির্ণয় :

(10) ***10^{-8} M অ্যাসিড দ্রবণের pH নির্ণয় করো।***

Ans. 10^{-8} M HCl দ্রবণের H_3O^+ আয়নের গাঢ়ত্ব নির্ণয় করার সময় জল দ্বারা প্রদত্ত H_3O^+ আয়নের গাঢ়ত্বকে ধরা হয়, কারণ এক্ষেত্রে জলে H_3O^+ আয়নের গাঢ়ত্ব, 10^{-8} M HCl দ্রবণে H_3O^+ আয়নের গাঢ়ত্বের দশ গুণ বেশি।

সুতরাং **10^{-8} M HCl দ্রবণের ক্ষেত্রে—**

$H_2O + HCl = H_3O^+ + Cl^-$ (H_3O^+: 10^{-8} গ্রাম আয়ন/লি) $H_2O + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + OH^-$ (10^{-7} গ্রাম আয়ন/লি)

সুতরাং এক্ষেত্রে H_3O^+ আয়নের মোট গাঢ়ত্ব $[H_3O^+] = [H_3O^+]_{HCl} + [H_3O^+]_{H_2O}$

$= (10^{-8} + 10^{-7})$ g ion/litre $= 10^{-7}(1 + 0.1)$ g ion/litre. $= 1.1 \times 10^{-7}$ g ion/litre.

$pH = -\log (1.1 \times 10^{-7}) = 7 \log 10 - \log 1.1 = 7 - 0.0414 =$ **6.9586.**

দেখা গেল 10^{-8} M HCl দ্রবণটির pH = 8 নয়, আসলে অ্যাসিড থেকে এবং জল থেকে আসা H_3O^+ আয়নের জন্য দ্রবণটির pH 6.9586 হয়। আবার H_3O^+-এর সম-আয়ন প্রভাবে জলের মোলার গাঢ়ত্ব 10^{-7} এর কিছু কম হয়, তাই pH সঠিক 6.9586 হবে না ওর কিছু কম হবে। অর্থাৎ দ্রবণটি খুবই মৃদু আম্লিক।

5.11. বাফার দ্রবণ [Buffer solution]

আমরা দেখেছি যে জলের সঙ্গে কয়েক ফোঁটা অ্যাসিড যোগ করলে অথবা কয়েক ফোঁটা ক্ষার দ্রবণ যোগ করলে জলের pH-এর পরিবর্তন ঘটে। কিন্তু অনেক রাসায়নিক এবং জৈব প্রক্রিয়ায় এমন দ্রবণের প্রয়োজন হয়, যার সঙ্গে সামান্য পরিমাণ অ্যাসিড বা ক্ষার যোগ করলেও দ্রবণটির pH-এর মানের সেরকম কোনো পরিবর্তন হয় না। এই জাতীয় দ্রবণকে বাফার দ্রবণ বলা হয়।

যেমন, 0.01 মোল HCl দ্রবণকে 1 litre 0.1 (M) CH_3COOH এবং 0.1 (M) CH_3COONa দ্রবণের মিশ্রণে যোগ করলে দেখা যাবে শেষ দ্রবণের pH 4.73 থেকে পরিবর্তিত হয়ে 4.64 হয়েছে।

অনুরূপে 0·01 (M) NaOH দ্রবণ এই দ্রবণের 1 litre-এ যোগ করলে দ্রবণের pH 4·73 থেকে বেড়ে 4·82 হয়। উভয় ক্ষেত্রেই দেখা যায় pH-এর পরিবর্তন খুব নগণ্য হয়—মাত্র 0·09 একক।

এর দ্বারা এটাই প্রমাণিত হয় যে, এমন কতকগুলি দ্রবণ আছে যাদের মধ্যে সামান্য অ্যাসিড বা ক্ষার দ্রবণ যোগ করলে, দ্রবণের pH-এর পরিবর্তনকে বাধা দেয়।

বাফার ক্রিয়া ঃ কোনো দ্রবণের pH পরিবর্তন করার জন্য ওই দ্রবণে সামান্য পরিমাণ অ্যাসিড (H^+ আয়ন) বা ক্ষার (OH^- আয়ন) যোগ করলে, ওই দ্রবণটি ওর pH-এর পরিবর্তনের বিরুদ্ধে যে বাধা দেয় তাকে ওই দ্রবণের বাফার ক্রিয়া বলে।

যে দ্রবণে সামান্য পরিমাণ অ্যাসিড বা ক্ষারক যোগ করলেও দ্রবণটির pH এর পরিবর্তন তেমন কিছু হয় না, সেই দ্রবণকে বাফার দ্রবণ বলে। অর্থাৎ, *বাফার দ্রবণ হল সেই দ্রবণ যার মধ্যে সামান্য অ্যাসিড বা ক্ষার দ্রবণ যোগ করলে, দ্রবণটি ওর pHএর মান পরিবর্তনে বাধা দেয়।* দ্রবণটি কার্যত নিজের pH-এর মান স্থির রাখে।

মানুষের রক্ত হল বাফার দ্রবণের একটি উৎকৃষ্ট উদাহরণ। আমরা নানা রকম খাদ্য গ্রহণ করলেও রক্ত কিন্তু নিজের pH-এর মান সব সময় **7·35** রাখে।

বাফার দ্রবণ দু-প্রকারের হয়—

(i) আম্লিক বাফার দ্রবণ—সমমোলার পরিমাণের একটি মৃদু অ্যাসিডের সঙ্গে, ওই অ্যাসিড এবং একটি তীব্র ক্ষারের বিক্রিয়ায় উৎপন্ন লবণকে দ্রবীভূত করে এই জাতীয় বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করা হয়।

যেমন, সমমোলার পরিমাণ অ্যাসেটিক অ্যাসিড এবং সোডিয়াম অ্যাসিটেট লবণকে জলে দ্রবীভূত করলে আম্লিক বাফার দ্রবণ প্রস্তুত হয় (সোডিয়াম অ্যাসিটেট লবণটি হল তীব্র ক্ষার NaOH এবং মৃদু অ্যাসিড CH_3COOH-এর বিক্রিয়া দ্বারা উৎপন্ন একটি লবণ)। এই বাফার দ্রবণটির pH = 4·74 থাকে। আম্লিক বাফার— [$CH_3COOH + CH_3COONa$].

(ii) ক্ষারকীয় বাফার দ্রবণ—সমমোলার পরিমাণের একটি মৃদু ক্ষারকের সঙ্গে, ওই ক্ষারক এবং একটি তীব্র অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় উৎপন্ন লবণকে দ্রবীভূত করে ক্ষারকীয় বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করা হয়।

যেমন, সমমোলার পরিমাণ অ্যামোনিয়াম হাইড্রক্সাইড (NH_4OH) এবং অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড (NH_4Cl) লবণকে জলে দ্রবীভূত করলে ক্ষারকীয় বাফার দ্রবণ প্রস্তুত হয়। (অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড লবণটি হল, মৃদু ক্ষারক NH_4OH এবং তীব্র অ্যাসিড HCl-এর বিক্রিয়া দ্বারা উৎপন্ন একটি লবণ)। এই বাফার দ্রবণটির pH = 9·25 থাকে। **ক্ষারকীয় বাফার**— [$NH_4OH + NH_4Cl$]

বাফার ক্রিয়ার উদাহরণ ঃ বাফার দ্রবণে সামান্য অ্যাসিড বা ক্ষার দ্রবণ যোগ করা সত্ত্বেও, দ্রবণটি নিজের pH-এর মানের পরিবর্তনে বাধা দেয়। নিজের pH পরিবর্তনে বাধা দেওয়ায় এই ধর্মকে দ্রবণটির বাফার ক্রিয়া বলে।

(i) অ্যামোনিয়াম অ্যাসিটেট দ্রবণের বাফার ক্রিয়া—অন্যান্য লবণের মতো অ্যামোনিয়াম অ্যাসিটেটও জলীয় দ্রবণে সম্পূর্ণ আয়নিত হয়।

$$CH_3COONH_4 \rightleftharpoons CH_3COO^- + NH_4^+$$

সুতরাং লবণটির দ্রবণে অতিরিক্ত পরিমাণ CH_3COO^- এবং NH_4^+ আয়নগুলি থাকে।

(a) এখন দ্রবণটির সঙ্গে সামান্য অ্যাসিড, ধরি HCl যোগ করায়, HCl এর বিয়োজনে প্রাপ্ত H_3O^+ অ্যামোনিয়াম অ্যাসিটেটের বিয়োজন প্রাপ্ত CH_3COO^- আয়নের সঙ্গে যুক্ত হয়ে অবিয়োজিত মৃদু অ্যাসিড CH_3COOH উৎপন্ন করে, ফলে দ্রবণ থেকে বাড়তি H^+ অর্থাৎ H_3O^+ আয়ন অপসারিত হওয়ার ফলে দ্রবণে H_3O^+ গাঢ়ত্বের তেমন কিছু পরিবর্তন হয় না।

$$HCl + H_2O \rightarrow H_3O^+ + Cl^-, \quad CH_3COO^- + H_3O^+ \rightarrow CH_3COOH + H_2O$$

দেখা গেল বাফার দ্রবণটিতে HCl অ্যাসিড যোগ করা সত্ত্বেও H_3O^+ আয়নের কার্যত কোনো পরিবর্তন না হওয়ার ফলে pH-এর মানের তেমন কোনো পরিবর্তন ঘটে না।

(b) আবার ধরা যাক, বাফার দ্রবণটিতে সামান্য তীব্র ক্ষার NaOH দ্রবণ যোগ করা হল। এর ফলে তীব্র ক্ষার NaOH এর সম্পূর্ণ আয়নীভবনে উৎপন্ন OH^- আয়নগুলি CH_3COONH_4 এর বিয়োজনে উৎপন্ন NH_4^+ আয়নগুলির সঙ্গে যুক্ত হয়ে অবিয়োজিত মৃদু ক্ষার NH_4OH-এ পরিণত হয়, ফলে দ্রবণ থেকে OH^- আয়নগুলিও অপসারিত হয়, ফলে দ্রবণে OH^- আয়নের আধিক্য ঘটে না।

$$NaOH \rightarrow Na^+ + OH^-, \quad NH_4^+ + OH^- \rightarrow NH_4OH$$

এইভাবে দ্রবণটিতে OH^- আয়নের গাঢ়ত্ব বা H_3O^+ আয়নের গাঢ়ত্ব তথা pH-এর মান প্রায় অপরিবর্তিত থাকে।

(1) আম্লিক বাফারের বাফার ক্রিয়া—আম্লিক বাফার CH_3COOH এবং CH_3COONa এর মিশ্রণের কথা ধরা যাক। মৃদু অ্যাসিড CH_3COOH দ্রবণে সামান্য আয়নিত হয়ে CH_3COO^- এবং H_3O^+ আয়ন দেয়। অপর দিকে CH_3COONa লবণটি সম্পূর্ণ আয়নিত হয়ে CH_3COO^- এবং Na^+ আয়ন দেয়।

$CH_3COOH + H_2O \rightleftharpoons CH_3COO^- + H_3O^+$ ... ... (i) $CH_3COONa \rightarrow CH_3COO^- + Na^+$ ... ... (ii)

CH_3COO^- আয়নটির সমআয়নের প্রভাবের ফলে মৃদু অ্যাসিড CH_3COOH এর আয়নীভবন আরও কমে যায়। ফলে দ্রবণে অতিরিক্ত পরিমাণ CH_3COO^- আয়ন থাকে কিন্তু H_3O^+ আয়নের পরিমাণ কমে যায়।

এখন এই দ্রবণে কয়েক ফোঁটা অ্যাসিড ধরি, HCl যোগ করলে, HCl-এর বিয়োজনে পাওয়া H_3O^+ আয়নগুলি CH_3OO^- আয়নের সঙ্গে যুক্ত হয়ে অবিয়োজিত CH_3COOH-এ পরিণত হয়, ফলে দ্রবণে H_3O^+ আয়নের পরিমাণ বাড়ে না—একই থাকে ফলে pH-এর পরিবর্তনও প্রায় একই থাকে। $CH_3COO^- + H_3O^+ \rightarrow CH_3COOH + H_2O$

অনুরূপে এই দ্রবণে যদি ক্ষার দ্রবণ, ধরি NaOH দ্রবণের কয়েক ফোঁটা যোগ করলে, দ্রবণে উপস্থিত H_3O^+ আয়নের সঙ্গে যুক্ত হয়ে অবিয়োজিত জলের অণুতে পরিণত হয়।

$$\underset{CH_3COOH \text{ থেকে পাওয়া}}{H_3O^+} + \underset{\text{ক্ষার থেকে পাওয়া}}{OH^-} \rightarrow \underset{\text{অবিয়োজিত জলের অণু}}{2H_2O}$$

যেহেতু H_3O^+ আয়নগুলি এইভাবে খরচ হয়ে যায়, তাই (i) সমীকরণের বিক্রিয়াটির সাম্যের সরণ ডান দিকে হতে থাকে, সুতরাং CH_3COOH মৃদু অ্যাসিড হলেও ওর বিয়োজন বৃদ্ধি পায়। সুতরাং দেখা গেল সামান্য অ্যাসিড বা ক্ষার দ্রবণ যোগ করলেও দ্রবণেও OH^- বা H_3O^+ এর গাঢ়ত্ব এবং দ্রবণের pH এর পরিবর্তন হয় না বললেই চলে।

(2) ক্ষারকীয় বাফারের বাফার ক্রিয়া—ক্ষারকীয় বাফার হল NH_4OH এবং NH_4Cl-এর মিশ্রণ। এর জলীয় দ্রবণে মৃদু ক্ষার NH_4OH কম বিয়োজিত হলেও, NH_4Cl লবণ জলে সম্পূর্ণ আয়নিত হয়।

$NH_4OH \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-$ ... ... (i) $NH_4Cl \rightarrow NH_4^+ + Cl^-$ ... ... (ii)

এক্ষেত্রে NH_4^+ সম আয়নটির প্রভাবে মৃদু ক্ষার NH_4OH-এর বিয়োজন আরো কমে যায়, ফলে দ্রবণে NH_4^+ আয়নের আধিক্য থাকলেও OH^- আয়নের গাঢ়ত্ব কমতে থাকে। এই মিশ্র দ্রবণে কয়েক ফোঁটা ক্ষার দ্রবণ যোগ করলে, ক্ষারের OH^- আয়নগুলি দ্রবণে উপস্থিত অতিরিক্ত NH_4^+ আয়নের সঙ্গে যুক্ত হয়ে অবিয়োজিত NH_4OH অণুতে পরিণত হয়ে যায়। $NH_4^+ + OH^- \rightarrow NH_4OH$

এর ফলে দ্রবণের H_3O^+ আয়নের গাঢ়ত্ব তথা pH-এর মানের তেমন পরিবর্তন ঘটে না।

মিশ্র দ্রবণটির সঙ্গে সামান্য অ্যাসিড যোগ করলে অ্যাসিডের বিয়োজন উৎপন্ন H_3O^+ আয়নগুলি ক্ষার থেকে উৎপন্ন OH^- আয়নগুলির সঙ্গে যুক্ত হয়ে অবিয়োজিত জলের অণুতে পরিণত হয়, ফলে দ্রবণে H_3O^+ এবং OH^- আয়নের পরিমাণ কমে। $H_3O^+ + OH^- \rightarrow 2H_2O$

যেহেতু দ্রবণে OH^- আয়নের পরিমাণ কমতে থাকে তাই উভমুখী বিক্রিয়ার **(i)** নং সমীকরণের সাম্যের সরণ ডান দিকে ঘটে, ফলে OH^- আয়নের ঘাটতি পূরণ হয়ে যায়। সুতরাং দ্রবণে OH^- আয়নের গাঢ়ত্বের তেমন কিছু পরিবর্তন হয় না ফলে pH-এর পরিবর্তনও সামান্য ঘটে।

অপর কয়েকটি বাফার দ্রবণের উদাহরণ—(i) (H_2CO_3 দ্রবণ + $NaHCO_3$ দ্রবণ) **(ii) [ফর্মিক অ্যাসিড (HCOOH) +** সোডিয়াম ফর্মেট লবণ] — pH 3·7 **(iii)** [বোরিক অ্যাসিড (H_3BO_3) + সোডিয়াম বোরেট]—pH (7–9).

বাফার দ্রবণের pH, হেন্ডারসনের সমীকরণ অ্যাসিড বাফারের ক্ষেত্রে $pH = pK_a + \log \frac{[\text{অ্যাসিড}]}{[\text{লবণ}]}$

এবং ক্ষারকীয় বাফারের ক্ষেত্রে $pH = pK_a + \log \frac{[\text{অ্যাসিড}]}{[\text{লবণ}]}$ সমীকরণটি প্রয়োগ করে নির্ণয় করা যায়।

উদাহরণ ঃ (1) ***0·1 (M) CH_3COOH দ্রবণের সঙ্গে 0·1 (M) CH_3COONa দ্রবণ মিশিয়ে একটি বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করা হল। এই দ্রবণের 1 litre-এ, 1ml 10 (M) HCl এবং 2ml 5 (M) NaOH দ্রবণ পৃথক ভাবে যোগ করলে দ্রবণটির pH-এর কী পরিবর্তন হয় দেখা যাবে? (দেওয়া আছে $K_a = 1·82 \times 10^{-5}$)***

Ans. $K_a = 1·82 \times 10^{-5}$ বা, $\log K_a = \log (1·82 \times 10^{-5})$

বা, $-\log K_a = -\log (1·82 \times 10^{-5}) = -\log 1·82 - \log 10^{-5}$

বা, $pK_a = 5 - \log 1·82 = 5 - 0·2601$ বা, $pK_a = 4·7399$

হেন্ডারসনের সমীকরণ প্রয়োগ করে, $pH = pK_a + \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{ক্ষারক}]} = 4·7399 + \log \frac{0·1}{0·1} = 4·7399$

∴ বাফারটির pH = 4·7399.

(i) এই বাফারে 1 ml 10 (M) HCl যোগ করলে ঃ

1 ml 10 (M) HCl দ্রবণে $[H^+] = \frac{1 \times 10}{1000} = 0.01$ গ্রাম আয়ন/লি। HCl থেকে আগত এই H^+ আয়নগুলি CH_3COO^- আয়নের সঙ্গে যুক্ত হয়ে অবিয়োজিত CH_3COOH-এর অণু গঠন করে। $CH_3COO^- + H^+ \rightarrow CH_3COOH$

এর ফলে [অ্যাসিড]-এর পরিমাণ সামান্য বাড়ে এবং আনুপাতিকভাবে [লবণ]-এর পরিমাণ কমে।

[লবণ] = 0·1 − 0·01 = 0·09 গ্রাম আয়ন/লি, [অ্যাসিড] = 0·1 + 0·01 = 0·11 গ্রাম আয়ন/লিটার

হেন্ডারসনের সমীকরণ প্রয়োগ করে—$pH = pK_a + \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অ্যাসিড}]}$ বা, $pH = 4.7399 + \log \frac{0.09}{0.11}$

বা, $pH = 4.7399 + \log \frac{9}{11} = 4.7399 + 0.9542 - 1.0414 = 4.6527 \approx 4.65$

সুতরাং pH-এর পরিবর্তন = 4·74 − 4·65 = 0·09 একক মাত্র।

(ii) এই বাফারে 2 ml 5 (M) NaOH দ্রবণ যোগ করলে ঃ এক্ষেত্রে $[OH^-] = \frac{2 \times 5}{1000} = 0.01$ গ্রাম আয়ন/লি

OH^- আয়ন CH_3COOH-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে লবণ উৎপন্ন করে। $OH^- + CH_3COOH \rightarrow CH_3COO^- + H_2O$. এই অবস্থায় [লবণ]-এর পরিমাণ বাড়ে এবং [অ্যাসিড]-এর পরিমাণ আনুপাতিকভাবে কমে।

[অ্যাসিড] = 0·1 − 0·01 = 0·09 গ্রাম আয়ন/লি, [লবণ] = 0·1 + 0·01 = 0·11 গ্রাম আয়ন/লি

$pH = pK_a + \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{ক্ষারক}]} = 4.7399 + \log \frac{0.11}{0.09} = 4.7399 + \log \frac{11}{9}$

$= 4.7399 + 1.0414 - 0.9542 = 4.8271 \approx 4.83$ অতএব, pH-এর বৃদ্ধি = 4·83 − 4·74 = **0·09 একক মাত্র।**

5.12. অ্যাসিড-ক্ষারক বিক্রিয়ায়, বিক্রিয়ক ও বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলির মধ্যে ওজনগত সম্পর্ক [Stoichiometry of acid-base reaction]

মোল ধারণার আগে, অ্যাসিড-ক্ষারক বিক্রিয়ার পরিমাণগত সমস্যাগুলির সমাধান করা হতো, অ্যাসিড, ক্ষারক ও লবণের নর্মালিটি ও নর্মালিটি সমীকরণের সাহায্যে।

(a) অ্যাসিডের তুল্যাঙ্কভার = $\frac{\text{আণবিক ওজন}}{\text{প্রতিস্থাপনীয় H পরমাণুর সংখ্যা}}$

যেমন, H_2SO_4-এর তুল্যাঙ্কভার = $\frac{98}{2} = 49$, HCl-এর তুল্যাঙ্ক = $\frac{36.5}{1} = 36.5$

(b) অ্যাসিডের তুল্যাঙ্কভারকে গ্রামে প্রকাশ করলে তাকে অ্যাসিডের গ্রাম-তুল্যাঙ্ক বলে।

যেমন H_2SO_4-এর গ্রাম-তুল্যাঙ্ক = 49 গ্রাম, HCl-এর 36·5 গ্রাম

(c) ক্ষারকের তুল্যাঙ্ক = $\frac{\text{আণবিক ওজন}}{\text{ক্ষারকের অম্লগ্রাহিতা}}$

যেমন NaOH-এর তুল্যাঙ্ক = $\frac{40}{1} = 40$, $Ca(OH)_2$-এর তুল্যাঙ্ক = $\frac{74}{2} = 37$

(d) ক্ষারকের তুল্যাঙ্কভারকে গ্রামে প্রকাশ করলে তাকে ক্ষারকের গ্রাম-তুল্যাঙ্ক বলে।

যেমন NaOH এর গ্রাম তুল্যাঙ্ক = 40 গ্রাম।

● **ক্ষার, ক্ষারক ও অ্যাসিড দ্রবণের মাত্রা ঃ**

দ্রবণের মাত্রাকে নানাভাবে প্রকাশ করা যায়—নর্মালিটি, মোলারিটি, মোলালিটি, লিটার প্রতি-গ্রাম, শতাংশ মাত্রা ইত্যাদি।

(i) (a) নর্মালিটি— 1 লিটার বা 1000 মিলি লিটার দ্রবণে দ্রাবের যত গ্রাম তুল্যাঙ্ক দ্রবীভূত থাকে।

$$\text{দ্রবণের নর্মালিটি} = \frac{\text{1 লিটার দ্রবণে দ্রাবের ওজন}}{\text{দ্রাবের গ্রাম তুল্যাঙ্ক}}$$

1 লিটার দ্রবণে দুই গ্রাম গ্রাম-তুল্যাঙ্ক অর্থাৎ 98 গ্রাম H_2SO_4 দ্রবীভূত থাকলে ওই দ্রবণের নর্মালিটি = 2.

(b) নর্মাল দ্রবণ—এক লিটার দ্রবণে, দ্রাবের এক গ্রাম-তুল্যাঙ্ক দ্রবীভূত থাকলে ওই দ্রবণকে নর্মাল দ্রবণ বলে।

যেমন, NaOH এবং H_2SO_4-এর গ্রাম-তুল্যাঙ্ক যথাক্রমে 40g এবং 49g

সুতরাং 1 লিটার দ্রবণে 40g NaOH দ্রবীভূত থাকলে ওই দ্রবণকে NaOH-এর নর্মাল দ্রবণ বা (N) NaOH বলা হয়। অনুরূপে 1 লিটার 49g H_2SO_4 দ্রবীভূত থাকলে ওই দ্রবণকে H_2SO_4-এর নর্মাল দ্রবণ বা (N) H_2SO_4 বলা হয়।

1 লিটারে $\frac{49}{10}$ g = 4·9 g H_2SO_4 থাকলে তাকে N/10 H_2SO_4 বলা হয়।

(ii) (a) মোলার দ্রবণ—1 লিটার দ্রবণে কোনো দ্রাবের 1 গ্রাম মোল পরিমাণ দ্রবীভূত থাকলে ওই দ্রবণকে ওই দ্রাবের মোলার দ্রবণ বলে।

যেমন 1 লিটার দ্রবণে 98g H_2SO_4 দ্রবীভূত থাকলে ওই দ্রবণকে H_2SO_4 এর মোলার দ্রবণ বা M H_2SO_4 বলা হয়। পদার্থের গ্রাম-অণু ও গ্রাম-তুল্যাঙ্ক একই হলে (যেমন NaOH গ্রাম-অণু = 40g গ্রাম-তুল্যাঙ্ক = 40g) মোলার দ্রবণ ও নর্মাল দ্রবণের মাত্রা একই হয়।

(b) মোলারিটি—1 লিটার দ্রবণে কোনো দ্রাবের যত গ্রাম মোল দ্রবীভূত থাকে সেই সংখ্যাটিকে ওই দ্রবণের মোলারিটি বলে। যেমন 1 লিটার দ্রবণে 1/2 গ্রাম মোল দ্রবীভূত থাকলে দ্রবণটির মোলারিটি = 0·5।

(iii) মোলাল দ্রবণ (Molal solution) **ঃ 1000g দ্রাবকের মধ্যে কোনো দ্রাবের এক গ্রাম মোল পরিমাণ দ্রবীভূত থাকলে ওই দ্রবণকে ওই দ্রাবের মোলাল দ্রবণ বলে।**

যেমন, 1000g জলে 106g Na_2CO_3 দ্রবীভূত থাকলে ওই দ্রবণকে Na_2CO_3-এর মোলাল দ্রবণ বলে। মোলাল দ্রবণকে 'm' দ্বারা প্রকাশ করা হয়। '0·1 m ইউরিয়ার অ্যালকোহলীয় দ্রবণ'—বলতে এই বোঝায় যে 1000g অ্যালকোহলের মধ্যে ইউরিয়ার এক গ্রাম মোলের $\frac{1}{10}$ ভাগ পরিমাণ দ্রবীভূত আছে।

মোলালিটি—1000 গ্রাম দ্রাবকে কোনো দ্রাবের যত গ্রাম মোল পরিমাণ দ্রবীভূত থাকে, সেই সংখ্যাটিকে ওই দ্রবণের মোলালিটি বলে।

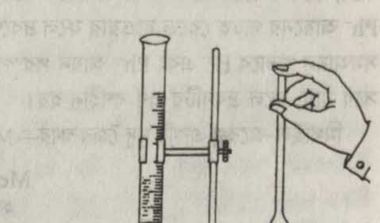
● **প্রমাণ দ্রবণ বা স্ট্যান্ডার্ড দ্রবণ** (Standard Solution) **ঃ যে দ্রবণের মাত্রা জানা থাকে তাকে প্রমাণ দ্রবণ বলে।** যেমন, 1 লিটার দ্রবণে 5·3g Na_2CO_3 দ্রবীভূত থাকলে, দ্রবণটির মাত্রা হল 5·3/53 = $\frac{N}{10}$ Na_2CO_3 হবে।

মুখ্য প্রমাণ দ্রবণ—কতকগুলি পদার্থকে বিশুদ্ধ এবং শুষ্ক অবস্থায় পাওয়া যায় এবং এই জাতীয় পদার্থগুলির সঠিক ওজন তুলায় নির্ণয় করা যায়। এরকম পদার্থকে মুখ্য প্রমাণ পদার্থ বলে যেমন Na_2CO_3 অক্সালিক অ্যাসিড ইত্যাদি। মুখ্য প্রমাণ পদার্থকে তুলায় ওজন করে কোনো দ্রাবকে দ্রবীভূত করে নির্দিষ্ট আয়তনের দ্রবণ তৈরি করলে ওই দ্রবণকে মুখ্য প্রমাণ দ্রবণ বলে।

5.13. অ্যাসিড-ক্ষারক টাইট্রেশন—আয়তনমাত্রিক বিশ্লেষণ [Acid-base titration—Volumetric anlysis]

টাইট্রেশন (Titration) **ঃ** প্রমাণ দ্রবণের কত আয়তন, অজ্ঞাত মাত্রার দ্রবণের কত আয়তনকে সম্পূর্ণ প্রশমিত করে পরীক্ষার সাহায্যে জেনে, ওই অজানা দ্রবণটির মাত্রা নির্ণয় করার পদ্ধতিকে টাইট্রেশন বলে। যেমন,

অ্যাসিড ও ক্ষারের টাইট্রেশনে জানা মাত্রার কত আয়তনের অ্যাসিড দ্রবণ, অজ্ঞাত মাত্রার কত আয়তনের ক্ষারকে প্রশমিত করে, তা নির্ণয় করে, অজানা দ্রবণের শক্তিমাত্রা গণনার সাহায্যে নির্ণয় করা হয়। এটি হল আয়তনমাত্রিক বিশ্লেষণের একটি উদাহরণ। জারণ-বিজারণ বিক্রিয়ার সাহায্যেও আয়তনমাত্রিক বিশ্লেষণ করা যায়।



চিত্র ঃ 5.5

ব্যবহৃত যন্ত্রপাতি—(i) **ব্যুরেট** (burette)—এতে অ্যাসিড দ্রবণ নেওয়া হয়, নীচের স্টপকক্‌টি খুলে ক্ষার দ্রবণে প্রয়োজন মত অ্যাসিড দ্রবণ যোগ করা হয়। ক্ষারকটিকে সম্পূর্ণ প্রশমিত করতে কত আয়তনের অ্যাসিডের প্রয়োজন হল, ব্যুরেট পাঠ থেকে তা জানা যায়। (ii) পিপেট (Pipette)—এই যন্ত্রের সাহায্যে কোনো নির্দিষ্ট আয়তনের (25 ml) ক্ষার দ্রবণ তুলে কনিক্যাল ফ্লাস্কের মধ্যে নেওয়া হয়।

অ্যাসিড-ক্ষার টাইট্রেশন পদ্ধতি—জানা মাত্রার $\frac{N}{10}$ Na_2CO_3 দ্রবণের সাহায্যে আনুমানিক 0·1 N H_2SO_4 দ্রবণের মাত্রা নির্ণয় করতে হবে। **সূচক—মিথাইল-অরেঞ্জ।**

পদ্ধতি—প্রদত্ত অ্যাসিড দ্রবণ দিয়ে ব্যুরেটটিকে ধোয়ার পর ওর মধ্যে '0' দাগ পর্যন্ত অজানা মাত্রার অ্যাসিড দ্রবণ নিয়ে স্ট্যান্ডের সাহায্যে বুরেটটিকে খাড়াভাবে রাখা হল।

পিপেটিকে প্রদত্ত $\frac{N}{10}$ ক্ষার দ্রবণ (Na_2CO_3) দ্বারা ধোয়ার পর ওর সাহায্যে 25 ml ক্ষার দ্রবণ তুলে একটি ধৌত করা ক্যনিক্যাল ফ্লাস্কের মধ্যে ঢেলে ওই দ্রবণে 2 ফোঁটা মিথাইল-অরেঞ্জ সূচক যোগ করা হল—ফলে দ্রবণের বর্ণ হলুদ হল। ক্ষার দ্রবণ সমেত ক্যনিক্যাল ফ্লাস্কটিকে ব্যুরেটের নীচে নিয়ে, স্টপকক্ খুলে অ্যাসিড দ্রবণ যোগ করা হল এবং দ্রবণটিকে নাড়া হল। একটা সময় আসবে যখন এক ফোঁটা অ্যাসিড দ্রবণ ক্ষার দ্রবণে যোগ করলেই দ্রবণটির বর্ণ হলুদ থেকে কমলা হয়। এটি হল প্রশমন-ক্ষণ। অ্যাসিড ফেলা বন্ধ করে অ্যাসিডের আয়তন পাঠ ব্যুরেট থেকে নেওয়া হল।

গণনা—অ্যাসিড দ্রবণের আয়তন = V ml, অজানা অ্যাসিড দ্রবণের মাত্রা = N_1 হলে, যেহেতু 25 ml ক্ষার দ্রবণ V ml অ্যাসিড দ্রবণ দ্বারা প্রশমিত হয়। সুতরাং নর্মালিটির সমীকরণে মানগুলি বসিয়ে পাই $V \times N_1 = 25 \times \frac{N}{10}$ বা $N_1 = \frac{25 \times N}{10 \times V}$

5.14. সূচক বা নির্দেশক [Acid-base indicator]

যে পদার্থ সাধারণত বর্ণ পরিবর্তন করে কোনো বিক্রিয়ায় প্রশমন-ক্ষণ নির্দেশ করে, তাকে সূচক বা নির্দেশক বলে।

● **যে সব পদার্থ নিজেদের বর্ণ পরিবর্তন করে অ্যাসিড-ক্ষার বিক্রিয়ায় প্রশমন-ক্ষণ নির্দেশ করে, সেই পদার্থগুলিকে অ্যাসিড-ক্ষার সূচক বা নির্দেশক বলে।** এই নির্দেশককে অনেক সময় প্রশমন সূচকও বলা হয়।

প্রশমন সূচক বা নির্দেশকগুলি মৃদু জৈব অ্যাসিড বা জৈব ক্ষার হয়।

নির্দেশক হল এমন একটি জৈব যৌগ যা পৃথক বর্ণ-বিশিষ্ট আয়নে বিয়োজিত হতে পারে। যেমন ফেনল্‌পথ্যালিন একটি মৃদু জৈব অ্যাসিড। একে HPh রূপে প্রকাশ করা হল। অবিয়োজিত অবস্থায় বর্ণহীন থাকে এবং বিয়োজিত হয়ে যে অ্যানায়ন (Ph^-) উৎপন্ন করে তার বর্ণ গোলাপী-লাল হয়। যেমন—

$$\underset{\text{বর্ণহীন}}{HPh} \rightleftharpoons \underset{\text{বর্ণহীন}}{H^+} + \underset{\text{গোলাপী লাল}}{Ph^-}$$

অর্থাৎ আণবিক অবস্থায় ফিনল্‌পথ্যালিন (HPh) বর্ণহীন, আয়নিত অবস্থায় Ph^- আয়নের রং গোলাপি-লাল। ক্ষার দ্রবণে HPh-এর H^+ আয়ন ক্ষারের OH^- আয়নের সঙ্গে যুক্ত হয়ে অবিয়োজিত H_2O অণুতে পরিণত হয় বলে, H^+ আয়নের গাঢ়ত্ব কমে, ফলে উপরের সাম্যাবস্থা ডানদিকে সরে যায় এবং দ্রবণে Ph^- আয়নের গাঢ়ত্ব বাড়ে। Ph^- আয়নের রং হল গোলাপি-লাল। Ph^- আয়নের গাঢ়ত্ব বেড়ে যাওয়ার ফলে দ্রবণের বর্ণ গোলাপি-লাল হয়। আবার অ্যাসিড দ্রবণে H^+ আয়নের গাঢ়ত্ব বাড়ে, ফলে সমআয়ন প্রভাবে H^+ এবং Ph^- আয়ন পরস্পর যুক্ত হয়ে অবিয়োজিত HPh অণুতে পরিণত হয় অর্থাৎ সাম্যের সরণ বামদিকে সরে যায়, ফলে দ্রবণটির বর্ণ বর্ণহীন হয়।

মিথাইল-অরেঞ্জ একটি মৃদু জৈব ক্ষার—MeOH রূপে একে প্রকাশ করা হল। জলীয় দ্রবণে এটি নীচের মতো বিয়োজিত হয়—

$$\underset{\text{হলুদ}}{MeOH} \rightleftharpoons \underset{\text{লাল}}{Me^+} + \underset{\text{বর্ণহীন}}{OH^-}$$

অবিয়োজিত অবস্থায় মিথাইল-অরেঞ্জের (MeOH) বর্ণ হল হলুদ এবং বিয়োজিত অবস্থায় Me^+ আয়নের বর্ণ লাল। মাধ্যমের প্রকৃতির পরিবর্তন হলে, যেমন আম্লিক থেকে ক্ষারীয় অথবা ক্ষারীয় থেকে আম্লিক হলে উপরের উভমুখী বিক্রিয়াটির সাম্যের সরণ বামদিকে নয়তো ডানদিকে হবে। যেমন দ্রবণে H^+ আয়নের আধিক্য হলে, H^+ আয়নগুলি OH^- আয়নের সঙ্গে যুক্ত হয়ে অবিয়োজিত জলের অণুতে পরিণত হতে থাকে। এর ফলে সাম্যের সরণ ডানদিকে হয়, ফলে দ্রবণে Me^+ আয়নের আধিক্য ঘটে, তাই দ্রবণটি লাল হয়। অর্থাৎ অ্যাসিড মাধ্যমে দ্রবণটির বর্ণ লাল হয়। আবার ক্ষার যোগ করলে দ্রবণে OH^- আয়নের আধিক্য ঘটে। ফলে সমআয়নের প্রভাবে সাম্যের সরণ বামদিকে ঘটে, ফলে Me^+ আরও বেশি OH^- আয়নের সঙ্গে যুক্ত হয়ে অবিয়োজিত MeOH-এ পরিণত হয়। যেহেতু MeOH-এর বর্ণ হলুদ তাই দ্রবণটির বর্ণ হলুদ হয়।

মিথাইল-অরেঞ্জ নির্দেশককে মৃদু অ্যাসিডের ক্ষেত্রে ব্যবহার করা হয় না, কারণ মৃদু অ্যাসিড খুব কম বিয়োজিত হয়ে খুব কম সংখ্যক H^+ আয়ন দেয়, ফলে উভমুখী বিক্রিয়াটির সাম্যের সরণ ডানদিকে হয় না ফলে দ্রবণে Me^+ আয়নের আধিক্য ঘটে না, তাই মৃদু অ্যাসিড CH_3COOH যোগ করা সত্ত্বেও দ্রবণের বর্ণ লাল হয় না।

(1) অস্‌ওয়াল্ডের অ্যাসিড-ক্ষার তত্ত্ব : সব অ্যাসিড-ক্ষার নির্দেশক মাত্রই হয় মৃদু জৈব অ্যাসিড অথবা মৃদু জৈব ক্ষার। কোনো নির্দেশকের আয়নিত এবং অ-আয়নিত রূপের বিভিন্ন বর্ণ আছে।

(a) অ্যাসিড-ক্ষার নির্দেশকের বর্ণ দ্রবণে দ্রবীভূত আয়নগুলির জন্য হয়। **(b)** দ্রবণের pH-এর পরিবর্তনের উপর নির্দেশকের বর্ণের পরিবর্তন নির্ভর করে। **(c)** আম্লিক নির্দেশকগুলি ক্ষারীয় মাধ্যমে গাঢ় বর্ণের সৃষ্টি করে অপরদিকে ক্ষারীয় নির্দেশকগুলি অ্যাসিড মাধ্যমে গাঢ় বর্ণ দেয়।

অ্যাসিড নির্দেশককে HIn এবং ক্ষারীয় নির্দেশককে InOH রূপে চিহ্নিত করলে—

$$\underset{\text{অ-আয়নিত অবস্থা}}{HIn} \rightleftharpoons \underset{\text{আয়নিত অবস্থা}}{H^+ + In^-} \qquad \underset{\text{অ-আয়নিত অবস্থা}}{InOH} \rightleftharpoons \underset{\text{আয়নিত অবস্থা}}{OH^- + In^+}$$

HIn এবং In^--এর বর্ণ বিভিন্ন। অনুরূপে InOH এবং In^+-এর বর্ণ বিভিন্ন হয়।

সাম্যাবস্থায় নির্দেশকের বিয়োজন ধ্রুবক = K_{In} হলে, $K_{In} = \frac{[H^+][In^-]}{[HIn]}$ বা, $[H^+] = \frac{K_{In} \times [HIn]}{[In^-]}$

উভয়পক্ষে log নিয়ে— $\log [H^+] = \log K_{In} + \log [HIn] - \log [In^-]$

বা, $-\log [H^+] = -\log K_{In} - \log [HIn] + \log [In^-]$

বা, $pH = pK_{In} - \log \frac{[HIn]}{[In^-]}$ বা, $pH = pK_{In} + \log \frac{[In^-]}{[HIn]}$

অর্থাৎ, $pH = pK_{In} + \log \frac{[\text{আয়নিত অবস্থা}]}{[\text{অ-আয়নিত অবস্থা}]}$ ... ... (1)

সুতরাং কোনো নির্দেশকের বর্ণ $\frac{[In^-]}{[HIn]}$ —এই **অনুপাতটির দ্বারা ধার্য হয়** এবং দ্রবণের pH-এর উপর নির্ভর করে।

যে অবস্থায় $[HIn] = [In^-]$ হয় সেই অবস্থায় $pH = pK_{In}$ হয়। এই অবস্থায় নির্দেশকের বিয়োজন ধ্রুবক $K_{In} = [H^+]$ হয়। এই অবস্থায় নির্দেশকের বর্ণের পরিবর্তন সম্পূর্ণ পরিবর্তনের অর্ধেক হয়।

এখন একটি দ্বিবর্ণ সিস্টেমে (ধরি নীল এবং হলুদ), সাধারণ চোখে হলুদের সঙ্গে নীল বর্ণের অনুভূতি পাওয়া যাবে যদি হলুদ বর্ণের গাঢ়ত্ব, নীল বর্ণের গাঢ়ত্বের 1/10 পর্যন্ত হয়। যদি হলুদ বর্ণের গাঢ়ত্ব এই মানের কম হয় তাহলে দ্রবণটিকে নীল দেখাবে। এখন সমীকরণ (1) ব্যবহার করে—

$$pH = pK_{In} + \log \frac{10}{1} = pK_{In} + 1 \quad \text{[অ-আয়নিত অবস্থায় বর্ণ]}$$

আবার $$pH = pK_{In} + \log \frac{1}{10} = pK_{In} - 1 \quad \text{[আয়নিত অবস্থায় বর্ণ]}$$

সুতরাং নির্দেশকের **pH-এর রেঞ্জ বিস্তার হল—** $pH = pK_{In} \pm 1$

অর্থাৎ pH-এর এই পাল্লার মধ্যে নির্দেশকের বর্ণ—একবর্ণ থেকে অন্য বর্ণে পরিবর্তিত হবে।

● **নির্দেশক নির্বাচন ঃ** অ্যাসিড-ক্ষার টাইট্রেশনের প্রশমনক্ষণে যদি দ্রবণের pH-এর মান $pK_{In} \pm 1$-এর কাছাকাছি হয় কিংবা $pK_{In} \pm 1$-এর মধ্যে হয়, তা হলে ওই নির্দিষ্ট টাইট্রেশনে নির্দেশকটির বর্ণের পরিবর্তন হঠাৎ হয়, তাই বর্ণের পরিবর্তনটি স্পষ্ট বোঝা যায়। সুতরাং অ্যাসিড-ক্ষারক টাইট্রেশনে এমন একটি সূচক নির্বাচন করা উচিত যা প্রশমন-ক্ষণের pH-এর পরিবর্তনে রঙের পরিবর্তন সুস্পষ্টভাবে দেখাতে পারে। কয়েকটি সূচকের pH-এর রেঞ্জ এখানে টেবিলে দেখান হল।

সূচক	pH রেঞ্জ	অ্যাসিড দ্রবণে বর্ণ	ক্ষারীয় দ্রবণে বর্ণ
মিথাইল অরেঞ্জ	3·1–4·5	লাল	হলুদ
মিথাইল রেড	4·2–6·2	লাল	হলুদ
ফেনলপথ্যালিন	8·3–10	বর্ণহীন	লালচে বেগুনি

(1) তীব্র অ্যাসিড ও তীব্র ক্ষারের টাইট্রেশনে—প্রশমন-ক্ষণ নির্ণয়ে **মিথাইল অরেঞ্জ, মিথাইল রেড বা ফেনলপথ্যালিন** ব্যবহার করা যায়।

(2) মৃদু অ্যাসিড (অ্যাসেটিক অ্যাসিড) ও তীব্র ক্ষারের (NaOH) **টাইট্রেশনে** কেবলমাত্র **ফেনলপথ্যালিন** ব্যবহার করা যায়।

(3) মৃদু ক্ষারক (NH_4OH) এবং **তীব্র অ্যাসিডের** (HCl) টাইট্রেশনে **মিথাইল-অরেঞ্জ** বা **মিথাইল রেড** ব্যবহার করা যায়।

সুতরাং দেখা গেল সব রকম অ্যাসিড-ক্ষারের প্রশমন ক্রিয়ার প্রশমন-ক্ষণ নির্দেশ করার জন্য সব নির্দেশক ব্যবহার করা যায় না। অ্যাসিড ও ক্ষারের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে বিভিন্ন ক্ষেত্রে বিভিন্ন নির্দেশক ব্যবহার করা হয়।

উদাহরণ ঃ *জলীয় মাধ্যমে HCl-এর জলীয় দ্রবণের সঙ্গে NH_4OH ($K_b = 1{\cdot}74 \times 10^{-5}$) -এর টাইট্রেশনে মিথাইল রেড নির্দেশক ($pK_{In} = 5{\cdot}1$) ব্যবহারের যথার্থতা বুঝিয়ে দাও । গঠিত লবণটির শক্তিমাত্রা ডেসি নর্মাল ।*

Ans. মিথাইল রেডের pH-এর পাল্লা = $5{\cdot}1 \pm 1 = 4{\cdot}1$ থেকে $6{\cdot}1$

$K_b = 1{\cdot}74 \times 10^{-5}$ বা, $pK_b = -\log(1{\cdot}74 \times 10^{-5}) = -\log 1{\cdot}74 - \log 10^{-5} = 5 - 0{\cdot}24 = 4{\cdot}76$

তীব্র অ্যাসিড HCl-এর সঙ্গে মৃদু ক্ষার NH_4OH এর টাইট্রেশনের প্রশমনক্ষণে pH-এর মান—

$$pH = \frac{1}{2}pK_w - pK_b - \log C = 7 - \frac{1}{2} \times 4{\cdot}76 - \log 0{\cdot}1 = 7 - \frac{1}{2} \times 4{\cdot}76 - \frac{1}{2}\log 0{\cdot}1$$
$$= 7 - 2{\cdot}38 + 0{\cdot}5 = 5{\cdot}12$$

যেহেতু pH = 5·12 মিথাইল রেডের পাল্লার মধ্যে (5·1 – 6·1) থাকে। সুতরাং নির্দেশকটি উপরের টাইট্রেশনে বর্ণের পরিবর্তন নিখুঁতভাবে দেখাবে।

● **গাণিতিক উদাহরণ** (Numerical problem) :

(1) ***4·9 g H_2SO_4-এর সঙ্গে জল যোগ করে 500 ml করা হল। 5% Na_2CO_3 দ্রবণের 25 ml-কে প্রশমিত করতে ওই অ্যাসিড দ্রবণের কত আয়তনের প্রয়োজন হবে?***

Ans. 500 ml দ্রবণে 4·9 g H_2SO_4 আছে।

∴ 1000 ,, ,, $4{\cdot}9 \times 2 = 9{\cdot}8$ g H_2SO_4 আছে।

H_2SO_4-এর গ্রাম-তুল্যাঙ্ক = 49g, সুতরাং মাত্রা = $\frac{9{\cdot}8\,(N)}{49}$ = 0.2 (N) হয়।

Na_2CO_3-এর গ্রাম-তুল্যাঙ্ক = 53g, সুতরাং 5% Na_2CO_3-এর মাত্রা নর্মালিটিতে = $\frac{5 \times 10}{53}$ (N) = 0·94 (N)

ধরি, অ্যাসিডের দ্রবণের x ml, 25 ml Na_2CO_3-কে প্রশমিত করে, $V_1 \times N_1 = V_2 \times N_2$ নর্মালিটি সূত্রটি প্রয়োগ করে—

$x \times 0{\cdot}2(N) = 25 \times 0{\cdot}94N$ বা, $x = \frac{25 \times 0{\cdot}94}{0{\cdot}2} = 117{\cdot}9$ ml

অ্যাসিডের প্রয়োজনীয় আয়তন = 117·9 ml.

(2) ***একটি গাঢ় H_2SO_4 দ্রবণের বোতলে অ্যাসিডের ঘনত্ব লেখা আছে। 1·84 g/ml ওজন হিসাবে দ্রবণটির মধ্যে 98% অ্যাসিড আছে। (i) অ্যাসিড দ্রবণটির মোলারিটি এবং নর্মালিটি নির্ণয় করো। (ii) 200 মিলি 0·5 (N) H_2SO_4 দ্রবণ প্রস্তুত করতে ওই অ্যাসিডের কত ml দরকার হবে?***

Ans. ঘনত্ব = 1·84 g/ml, সুতরাং 1 ml অ্যাসিড দ্রবণের ওজন = 1·84 g

∴ 1000 ml অ্যাসিডের ওজন = $1{\cdot}84 \times 1000 = 1840$ g

অ্যাসিডটি 98% বিশুদ্ধ, অর্থাৎ 100 g দ্রবণে অ্যাসিডের পরিমাণ 98 g

সুতরাং 1840 g দ্রবণে অ্যাসিডের পরিমাণ = $\frac{98 \times 1840}{100} = 1803{\cdot}2$ g

অতএব 1000 ml দ্রবণে H_2SO_4-এর পরিমাণ = 1803·2g, H_2SO_4-এর গ্রাম তুল্যাঙ্কভার = 49g.

∴ দ্রবণটির নর্মালিটি = $\frac{1803{\cdot}2}{49} = 36{\cdot}8$; দ্রবণটির নর্মালিটি মাত্রা = 36·8 (N)

∴ দ্রবণটির মোলারিটি = $\frac{1803{\cdot}2}{98} = 18{\cdot}4$; দ্রবণটির মোলারিটি মাত্রা = **18·4 (M)**

200 ml 0·5 (N) H_2SO_4 দ্রবণ প্রস্তুত করতে ধরি এই দ্রবণটির V ml দরকার হয়।

সুতরাং V ml 36·8 (N) $H_2SO_4 \equiv 36{\cdot}8\ V$ ml (N) H_2SO_4

আবার 200 ml 0·5 (N) $H_2SO_4 \equiv 200 \times 0{\cdot}5 = 100$ ml (N) H_2SO_4

এখন $36{\cdot}8\ V = 100$ বা, $V = 100/36{\cdot}8 = 2{\cdot}72$ ml

(3) ***50 ml 0·8% NaOH দ্রবণের সঙ্গে 25 ml 0·5 (N) HCl মেশান হল। ওই মিশ্রণের আম্লিক অথবা ক্ষারীয় মাত্রা কত নর্মাল হবে? (Na = 23)***

Ans. 100 ml দ্রবণে 0·8 g NaOH আছে, 1000 ml দ্রবণে $\frac{0{\cdot}8 \times 1000}{100}$ g = 8 g NaOH আছে। NaOH-এর গ্রাম তুল্যাঙ্ক = 40 g

∴ NaOH দ্রবণের মাত্রা = 8N/40 = N/5

50 ml N/5 NaOH দ্রবণ ≡ $50 \times \frac{1}{5}$ ml (N) NaOH ≡ 10 ml (N) NaOH দ্রবণ।

25 ml 0·5 (N) HCl দ্রবণ ≡ 25 × 0·5 ml (N) HCl ≡ 12·5 ml (N) HCl দ্রবণ।

10 ml (N) NaOH প্রশমিত করে 10 ml (N) HCl-কে

∴ (12·5 − 10) ml = 2·5 ml (N) HCl দ্রবণ উদ্বৃত্ত থাকে।

∴ শেষ দ্রবণটি আম্লিক হবে। শেষ দ্রবণের মোট আয়তন = (50 + 25) ml = 75 ml

ধরি, এই দ্রবণের মাত্রা N_1 বা, $75 \times N_1 = 2·5 \times N$; $N_1 = \frac{2·5\,N}{75} = 0·033\ (N)$

(4) 2·7 g এক টুকরো অ্যালুমিনিয়ামের সঙ্গে 75 ml সালফিউরিক অ্যাসিড মিশিয়ে উত্তপ্ত করা হল। গৃহীত সালফিউরিক অ্যাসিডের আপেক্ষিক গুরুত্ব 1·18 এবং ওর মধ্যে ওজন হিসাবে 24·7% H_2SO_4 আছে। সমগ্র ধাতুটি দ্রবীভূত হওয়ার পর দ্রবণটির সঙ্গে জল মিশিয়ে 400 ml করা হল। উৎপন্ন দ্রবণে সালফিউরিক অ্যাসিডের মোলারিটি নির্ণয় করো। (Al—27, S—32)

Ans. $$\underset{2 \times 27\,g}{2Al} + \underset{3 \times 98\,g}{3H_2SO_4} = Al_2(SO_4)_3 + 3H_2$$

বিক্রিয়ায় দেখা যায়— 2 × 27 g Al বিক্রিয়া করে 3 × 98 g H_2SO_4-এর সঙ্গে,

2·7 g Al বিক্রিয়া করে $\frac{3 \times 98 \times 2·7}{2 \times 27}$ g H_2SO_4 = 14·7 g H_2SO_4-এর সঙ্গে।

এখন 1 ml H_2SO_4-এর ওজন 1·18 g. সুতরাং 1000 ml H_2SO_4-এর ওজন = 1·18 × 1000 = 1180 g

100 g দ্রবণে H_2SO_4 বর্তমান 24·7 g. সুতরাং 1180 g দ্রবণে H_2SO_4 বর্তমান $\frac{24·7 \times 1180}{100}$ g = 291·46 g

সুতরাং 1000 ml H_2SO_4 দ্রবণে 291·46 g H_2SO_4 আছে।

75 ,, ,, ,, $\frac{291·46 \times 75}{1000}$ = 21.86 g H_2SO_4 আছে।

21·86 g H_2SO_4-এর মধ্যে 14·7 g H_2SO_4 Al-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে। সুতরাং অতিরিক্ত অ্যাসিড = (21·86 − 14·7) g = 7·16g, শেষ দ্রবণটির আয়তন = 400 ml.

সুতরাং 400 ml দ্রবণে H_2SO_4-এর পরিমাণ = 7.16 g

1000 ,, ,, ,, = $\frac{7·16 \times 1000}{400}$ = 17.9 g

∴ দ্রবণটির মোলারিটি = $\frac{17·9}{98}$ = **0·1826 (M)**

(5) আয়তনের কী অনুপাতে 0·08 (N) H_2SO_4 এবং 0·14 (N) H_2SO_4 শক্তিমাত্রার দুটি দ্রবণ মেশালে সঠিক (N/10) H_2SO_4 দ্রবণ উৎপন্ন হবে?

Ans. ধরি, x ml 0·08 (N) H_2SO_4 দ্রবণের সঙ্গে y ml 0·14 (N) H_2SO_4 দ্রবণ মেশালে N/10 H_2SO_4 দ্রবণ পাওয়া যায়।

x ml 0·08 (N) H_2SO_4 ≡ x × 0·08 ml (N) H_2SO_4; y ml 0·14 (N) H_2SO_4 ≡ y × 0·14 ml (N) H_2SO_4

অর্থাৎ, মিশ্রণে (x × 0·08 + y × 0·14) ml (N) H_2SO_4 থাকবে। দুই অ্যাসিড মিশ্রণের আয়তন ($x + y$) ml

$\therefore (0·08x + 0·14y)$ ml (N) $H_2SO_4 \equiv (x + y)$ ml $\left(\frac{N}{10}\right)$ H_2SO_4

বা, $(0·08x + 0·14y)\,N = (x + y)\left(\frac{N}{10}\right)$ বা, $0·08x + 0·14y = \frac{x + y}{10}$

বা, $0·8x + 1·4y = x + y$ বা, $x - 0·8x = 1·4y - y$ বা, $0·2x = 0·4y$ বা, $\frac{x}{y} = \frac{4}{2} = \frac{2}{1}$

অর্থাৎ 0·8 (N) H_2SO_4-এর 2 আয়তনের সঙ্গে 0·14 (N) H_2SO_4-এর এক আয়তন মেশালে মিশ্রণের শক্তিমাত্রা সঠিক (N/10) হবে।

(6) সমমোলার পরিমাণে মিশ্রিত Na_2CO_3 এবং $NaHCO_3$-এর একটি মিশ্রণের 1 g-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করতে 0·1 (N) HCl দ্রবণের কত আয়তনের প্রয়োজন হবে?

Ans. ধরি, মিশ্রণে x মোল Na_2CO_3 এবং x মোল $NaHCO_3$ আছে।

Na_2CO_3-এর পরিমাণ = x × 106 g এবং $NaHCO_3$-এর পরিমাণ = x × 84 g

$106x + 84x = 1$ g (দেওয়া আছে) বা, $190x = 1$ বা, $x = \frac{1}{190}$ মোল

Na_2CO_3-এর পরিমাণ $\frac{1}{190} \times 106 = \frac{106}{190}$ g, $NaHCO_3$-এর পরিমাণ $\frac{1}{190} \times 84 = \frac{84}{190}$ g

এখন, 53g $Na_2CO_3 \equiv$ 1000 ml (N) HCl

$\frac{106}{190}$ g " $\equiv \frac{1000}{53} \times \frac{106}{190}$ ml (N) HCl ≡ 10·526 ml (N) HCl ≡ 105·26 ml 0·1 N HCl

আবার, 84 g $NaHCO_3 \equiv$ 1000 ml (N) HCl

$\frac{84}{190}$ g " $\equiv \frac{1000 \times 84}{190 \times 84}$ ml (N) HCl ≡ 5·263 ml N HCl ≡ **52·63 ml 0·1 N HCl**

অ্যাসিডের মোট আয়তন = (105·26 + 52·63) ml 0·1 (N) HCl = **157·89 ml**

5.15. দ্রাব্যতা [Solubility]

নির্দিষ্ট উষ্ণতায়, 100 গ্রাম দ্রাবক সর্বোচ্চ যত গ্রাম দ্রাব দ্রবীভূত করতে পারে, সেই গ্রাম সংখ্যাকে ওই উষ্ণতায় ওই দ্রাবের দ্রাব্যতা বলে।

অর্থাৎ কোনো নির্দিষ্ট উষ্ণতায় 100 গ্রাম দ্রাবককে সম্পৃক্ত করতে যত গ্রাম দ্রাবের প্রয়োজন হয়, পদার্থটির দ্রাব্যতা সেই উষ্ণতায় তত গ্রাম-সংখ্যা। '80°C উষ্ণতায় সাধারণ লবণের দ্রাব্যতা 39'—এই কথা বলতে বোঝায় যে 80°C উষ্ণতায় 100 g জলে 39 g সাধারণ লবণ দ্রবীভূত করলে দ্রবণটি সম্পৃক্ত হবে।

ধরি, t°C উষ্ণতায় n গ্রাম দ্রবণে m গ্রাম দ্রাব সম্পৃক্ত অবস্থায় দ্রবীভূত আছে।

এখন দ্রবণ = দ্রাবক + দ্রাব, বা, দ্রাবক = দ্রবণ – দ্রাব বা দ্রাবক = $(n - m)$ গ্রাম, সুতরাং বলা যায়—

t°C উষ্ণতায় $(n - m)$ গ্রাম দ্রাবকের মধ্যে m গ্রাম দ্রাব সম্পৃক্ত অবস্থায় দ্রবীভূত আছে।

t°C উষ্ণতায় 100 গ্রাম দ্রাবকের মধ্যে $\frac{m \times 100}{(n-m)}$ গ্রাম দ্রাব সম্পৃক্ত অবস্থায় দ্রবীভূত আছে।

t°C উষ্ণতায় পদার্থটির দ্রাব্যতা = $100m/(n - m)$

5.16. দ্রাব্যতা গুণফল [Solubility product]

প্রত্যেক লবণই তীব্র তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পদার্থ। তবে বিভিন্ন তরলে বিভিন্ন লবণের দ্রাব্যতা বিভিন্ন হয়। জলে কোনো লবণ খুব বেশি দ্রাব্য, আবার কোনোটি কম দ্রাব্য। যেমন, পটাশিয়াম নাইট্রেট (KNO_3), সোডিয়াম নাইট্রেট ($NaNO_3$) প্রভৃতি লবণগুলির জলে দ্রাব্যতা বেশি। এই লবণগুলি জলে দ্রবীভূত হয়ে সম্পূর্ণ আয়নিত হয়। দ্রবণে অবিয়োজিত অণু থাকে না। এর ফলে এই জাতীয় লবণের তড়িৎ-বিয়োজনে আণবিক অবস্থা এবং আয়নিত অবস্থার মধ্যে সাম্যাবস্থার সৃষ্টি হয় না। কিন্তু কতকগুলি স্বল্পদ্রাব্য লবণ যেমন AgCl, $BaSO_4$ প্রভৃতির সম্পৃক্ত জলীয় দ্রবণের মধ্যে যদি অদ্রাব্য কঠিন লবণ উপস্থিত থাকে, তাহলে অদ্রাব্য কঠিন লবণ এবং বিয়োজিত আয়নগুলির মধ্যে একটা উভমুখী ক্রিয়া চলতে থাকে। কঠিনের কিছু অংশ আয়নিত হতে থাকে, আবার কিছু আয়ন পরস্পর যুক্ত হয়ে কঠিন লবণে পরিণত হতে থাকে। এইভাবে আয়ন এবং কঠিন লবণের মধ্যে একটা সাম্যাবস্থার সৃষ্টি হয়। এখানে কঠিন লবণের সঙ্গে জলে দ্রবীভূত অণুর মধ্যে একটা সাম্যাবস্থার সৃষ্টি হয় এবং জলে দ্রবীভূত অণুগুলির সবগুলি অণু বিয়োজিত হয়ে আয়নে পরিণত হয়। সুতরাং বলা যায় যে, কঠিন লবণ এবং বিয়োজিত আয়নের মধ্যে সাম্যাবস্থায় সৃষ্টি হয়।

যেমন ধরা যাক্, কোনো স্থির উষ্ণতায় স্বল্প দ্রাব্য AgCl লবণের একটি সম্পৃক্ত দ্রবণ তৈরি করা হল। কঠিন AgCl-এর যে অংশ দ্রবীভূত হয়, তার সবটুকু সম্পূর্ণ আয়নিত হয়ে Ag^+ এবং Cl^- আয়নে পরিণত হয়। স্বল্পদ্রাব্য AgCl-এর সম্পৃক্ত দ্রবণের তড়িৎ-বিয়োজনকে নীচের মত প্রকাশ করা যায়—

$$\underset{\text{কঠিন}}{AgCl\,(s)} \rightleftharpoons \underset{\text{দ্রবীভূত}}{AgCl\,(aq)} \rightleftharpoons Ag^+ + Cl^-$$ বা, সরাসরি $AgCl\,(s) \rightleftharpoons Ag^+\,(aq) + Cl^-\,(aq)$

এখন ভর-ক্রিয়া সূত্র প্রয়োগ করলে,

কঠিন AgCl-এর গাঢ়ত্ব = [AgCl]; Ag^+ আয়নের গাঢ়ত্ব = $[Ag^+]$, Cl^- আয়নের গাঢ়ত্ব = $[Cl^-]$ হলে,

$\frac{[Ag^+][Cl^-]}{[AgCl]} = K$ [ধ্রুবক] বা, $[Ag^+] \times [Cl^-] = K[AgCl]$

যেহেতু দ্রবণটি সম্পৃক্ত অর্থাৎ কঠিন AgCl-এর আর দ্রবীভূত হওয়া সম্ভব নয়, তাই কঠিন AgCl-এর গাঢ়ত্ব [AgCl] স্থির থাকে। সুতরাং [AgCl] একটি ধ্রুবক।

সুতরাং, $K[AgCl] = K_s$ (ধ্রুবক)। অর্থাৎ $[Ag^+] \times [Cl^-] = K_s$ (দ্রাব্যতা গুণফল)

অনুরূপে, $BaSO_4$, $Al(OH)_3$, $Ca_3(PO_4)_2$ প্রভৃতির দ্রাব্যতা গুণফল এইভাবে প্রকাশ করা হয়—

(1) $BaSO_4 \rightleftharpoons Ba^{2+} + SO_4^{2-}$ দ্রাব্যতা গুণফল $K_s = [Ba^{2+}] \times [SO_4^{2}]$

(2) $Al(OH)_3 \rightleftharpoons Al^{3+} + 3OH^-$ দ্রাব্যতা গুণফল $K_s = [Al^{3+}] \times [OH^-]^3$

(3) $Ca_3(PO_4)_2 \rightleftharpoons 3Ca^{2+} + 2PO_4^{3-}$ দ্রাব্যতা গুণফল $K_s = [Ca^{2+}]^3 \times [PO_4^{3-}]^2$

সাধারণভাবে $A_xB_y \rightleftharpoons xA^{y+} + yB^{x-}$ $\therefore K_s = [A^{y+}]^x \times [B^{x-}]^y$ যেখানে x এবং y আয়নের সংখ্যা প্রকাশ করে।

এই K_s ধ্রবকটিকে নির্দিষ্ট উষ্ণতায় স্বল্পদ্রাব্য AgCl লবণটির দ্রাব্যতা-গুণফল বলে। অর্থাৎ বলা যায়, **কোনো নির্দিষ্ট উষ্ণতায়, স্বল্পদ্রাব্য AgCl-এর সম্পৃক্ত দ্রবণে Ag^+ এবং Cl^- আয়নের গাঢ়ত্বের গুণফল = ধ্রুবক।**

দ্রবণে কোনো নির্দিষ্ট উষ্ণতায় Ag^+ কিংবা Cl^--এর গাঢ়ত্ব বাড়ালে বা কমালেও ধ্রুবক K_s-এর কোনো পরিবর্তন হবে না। দ্রবণে যদি অন্য আয়ন উপস্থিত থাকে তাহলেও K_s-এর কোনো পরিবর্তন হয় না। তাহলে বলা যায়—

নির্দিষ্ট উষ্ণতায়, কোনো স্বল্পদ্রাব্য লবণের সর্বোচ্চ আয়নীয় গাঢ়ত্বের গুণফল = ধ্রুবক (K_s), এই ধ্রুবককে ওই লবণের দ্রাব্যতা গুণফল (Solubility product) বলে।

● **দ্রাব্যতা ও দ্রাব্যতা গুণফলের সম্পর্ক** (Relation between solubility and solubility product of a substance) ঃ

(1) সাধারণভাবে ধরা যাক BA একটি স্বল্প দ্রাব্য লবণ যার একটি অণু আয়নিত হয়ে দুটি আয়ন, B^+ এবং A^- উৎপন্ন করে। B^+ এবং A^- আয়নের যোজ্যতা = 1। এখন BA লবণটির দ্রাব্যতাকে (দ্রবণ-গাঢ়ত্ব) গ্রাম-মোল প্রতি লিটারে এবং আয়নের গাঢ়ত্বকে গ্রাম-আয়ন প্রতি লিটারে প্রকাশ করলে, ধরি BA-এর দ্রাব্যতা কোনো নির্দিষ্ট উষ্ণতায় S মোল/লিটার। লবণটি সম্পূর্ণ বিয়োজিত হয়েছে ধরলে B^+ এবং A^- আয়নের প্রত্যেকের গাঢ়ত্ব S গ্রাম আয়ন/লিটার হবে।

$$\underset{\text{কঠিন}}{BA} \rightleftharpoons \underset{\text{দ্রবীভূত}}{BA} \rightleftharpoons B^+ + A^-$$

এক্ষেত্রে, BA লবণটির দ্রাব্যতা গুণফল $K_s = \{B^+] \times [A^-] = S \times S = S^2$

অথাৎ, **(i) স্বল্পদ্রাব্য লবণ যদি সমান সংখ্যক ক্যাটায়ন এবং অ্যানায়ন উৎপন্ন করে তাহলে নির্দিষ্ট উষ্ণতায় লবণটির দ্রাব্যতা গুণফল = ওই উষ্ণতায়, গ্রাম-মোল প্রতি লিটার এককে প্রকাশিত লবণটির দ্রাব্যতার বর্গ হবে।**

● **নির্দিষ্ট উষ্ণতায় স্বল্পদ্রাব্য লবণের সম্পৃক্ত দ্রবণে, এক গ্রাম-অণু লবণ থেকে যে ক্যাটায়ন এবং অ্যানায়ন পাওয়া যায়, উপযুক্ত ঘাতে উন্নীত তাদের প্রত্যেকটির মোলার গাঢ়ত্বের গুণফল সর্বদা ধ্রুবক হয়। ধ্রুবকটিকে স্বল্পদ্রাব্য লবণটির দ্রাব্যতা-গুণফল বলে।** যেমন,

$PbCl_2\ (s) \rightleftharpoons Pb^{++}\ (aq) + 2Cl^-\ (aq)$. ধরি, $PbCl_2$-এর দ্রাব্যতা s মোল/লি।

তাহলে দ্রবণে $[Pb^{++}] = s$, $[Cl^-] = 2s$. দ্রাবতা-গুণফল $K_s = [Pb^{++}] \times [Cl^-]^2 = (s) \times (2s)^2 = 4s^3$

● নির্দিষ্ট উষ্ণতায় প্রত্যেক তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পদার্থের **দ্রাব্যতা গুণফল নির্দিষ্ট থাকে। যখনই লবণটির আয়নীয় গাঢ়ত্বের গুণফল, দ্রাব্যতা-গুণফলের চেয়ে বেশি হয়, তখনই পদার্থের কিছুটা অধঃক্ষিপ্ত হয়ে আয়নীয় গাঢ়ত্বের গুণফল এবং দ্রাব্যতা গুণফল সমান হয়ে যায়।**

20^oC উষ্ণতায় কয়েকটি পদার্থের দ্রাব্যতা গুণফল নীচে দেওয়া হল ঃ

পদার্থ		K_s	পদার্থ		K_s
AgCl	...	$1{\cdot}7 \times 10^{-10}$	$PbCl_2$	...	$1{\cdot}6 \times 10^{-5}$
$BaSO_4$	...	$1{\cdot}0 \times 10^{-10}$	$Fe(OH)_3$	...	$1{\cdot}1 \times 10^{-38}$
CuS	...	$4{\cdot}0 \times 10^{-38}$	ZnS	...	$2{\cdot}5 \times 10^{-22}$
$Zn(OH)_2$	...	$1{\cdot}0 \times 10^{-17}$	$Al(OH)_3$	...	$8{\cdot}5 \times 10^{-23}$

● কোনো তড়িৎ বিশ্লেষ্য পদার্থের জলীয় দ্রবণে, পদার্থটি বিয়োজিত হয়ে যে সব আয়ন উৎপন্ন করে সেই **আয়নগুলির**

গাঢ়ত্বের গুণফল—(i) দ্রাব্যতা-গুণফলের চেয়ে কম হলে দ্রবণটি অসম্পৃক্ত হবে, (ii) দ্রাব্যতা-গুণফলের সমান হলে দ্রবণটি সম্পৃক্ত হবে। (iii) দ্রাব্যতা-গুণফলের বেশি হলে পদার্থটি অধঃক্ষিপ্ত হবে।

● দ্রাব্যতা-গুণফল ও আয়নীয় গুণফলের মধ্যে সম্পর্ক ঃ

(i) আয়নীয়-গুণফল এবং দ্রাব্যতা-গুণফল, উভয়েই দ্রবণে উপস্থিত আয়নগুলির উপযুক্ত ঘাতে উন্নীত মোলার গাঢ়ত্বের গুণফল প্রকাশ করে। উপযুক্ত ঘাত বলতে দ্রবণে উপস্থিত একটি অণুর বিয়োজনে উৎপন্ন আয়নের সংখ্যা।

(ii) সম্পৃক্ত বা অসম্পৃক্ত—সবরকম দ্রবণের ক্ষেত্রে আয়নীয়-গুণফল প্রযোজ্য। অপরদিকে দ্রাব্যতা-গুণফল **কেবলমাত্র সম্পৃক্ত দ্রবণের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য হয়,** যেখানে দ্রবণে উপস্থিত অদ্রবীভূত লবণ এবং আয়নগুলির মধ্যে **একটি গতিশীল সাম্যের সৃষ্টি হয়।** সুতরাং বলা যায়—**দ্রাব্যতা-গুণফল হল, একটি সম্পৃক্ত দ্রবণের আয়নীয় গুণফল।**

দ্রাব্যতা গুণফল নির্ণয় ঃ একটি স্বল্প দ্রাব্য লবণের জলে দ্রাব্যতা জেনে, লবণটির দ্রাব্যতা গুণফল নির্ণয় করা যায়।

(1) 25ºC উষ্ণতায় জলে AgCl-এর দ্রাব্যতা 1·05 × 10⁻⁵ মোল/লিটার। AgCl-এর দ্রাব্যতা গুণফল নির্ণয় করো।

Ans. AgCl এরকম আয়নিত হয়— $AgCl \rightleftharpoons Ag^+ + Cl^-$

অর্থাৎ 1 মোল AgCl দেয়, 1 মোল Ag^+ আয়ন এবং 1 মোল Cl^- আয়ন।

এখন AgCl-এর দ্রাব্যতা = $1{\cdot}05 \times 10^{-5}$ মোল/লিটার

∴ $[Ag^+] = 1{\cdot}05 \times 10^{-5}$ মোল/লি, $[Cl^-] = 1{\cdot}05 \times 10^{-5}$ মোল/লিটার

∴ AgCl-এর দ্রাব্যতা গুণফল $K_s = [Ag^+] \times [Cl^-] = 1{\cdot}05 \times 10^{-5} \times 1{\cdot}05 \times 10^{-5}$ $\quad K_s = \mathbf{1{\cdot}1 \times 10^{-10}}$

5.17. দ্রাব্যতা গুণফলের উপর সম আয়নের প্রভাব [Common ion effect on solubility product]

ধরি, কোনো নির্দিষ্ট উষ্ণতায় BA একটি তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পদার্থের সম্পৃক্ত দ্রবণের সাম্যাবস্থায় $K_s = [B^+] \times [A^-]$

এখন যদি দ্রবণটির মধ্যে অন্য একটি তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পদার্থ CA যোগ করা হয়, তাহলে দ্রবণের মধ্যে BA এবং CA বিয়োজিত হয়ে আয়নিত হবে। $\quad BA \rightleftharpoons B^+ + A^-, \quad CA \rightleftharpoons C^+ + A^-$

এর ফলে দ্রবণে A^- আয়নের গাঢ়ত্ব বাড়ে। কিন্তু যেহেতু নির্দিষ্ট উষ্ণতায় $K_s = [B^+] \times [A^-]$, সেইজন্য দ্রাব্যতা গুণফল K_s-এর মান স্থির রাখার জন্য A^- আয়নের গাঢ়ত্ব কমাতে হয়। A^- আয়নের গাঢ়ত্ব কমে, যদি B^+ এবং A^- যুক্ত হয়ে অবিয়োজিত অণুতে পরিণত হয়। সেইজন্য এইক্ষেত্রে B^+ এবং A^- আয়ন পরস্পর যুক্ত হয়ে BA রূপে দ্রবণে থেকে অধঃক্ষিপ্ত হবে।

আবার ওই দ্রবণে BC তড়িৎবিশ্লেষ্য যোগ করলে দ্রবণে B^+ আয়নের আধিক্য ঘটে। ফলে B^+ আয়নের গাঢ়ত্ব বেড়ে যায়। K_s-এর মান স্থির রাখার জন্য B^+ এবং A^- পরস্পর যুক্ত হয়ে অবিয়োজিত BA অণু উৎপন্ন করে, ফলে এক্ষেত্রেও BA অধঃক্ষিপ্ত হবে। সুতরাং বলা যায়,

(i) কোনো নির্দিষ্ট উষ্ণতায়, কোনো তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পদার্থের সম্পৃক্ত দ্রবণের মধ্যে পদার্থটির কোনো আয়নের গাঢ়ত্ব যদি বাড়ানো হয়, তাহলে ওই পদার্থটির দ্রাব্যতা গুণফল K_s-এর মান স্থির রাখার জন্য আয়ন বৃদ্ধির মাত্রা অনুযায়ী ওই পদার্থটির কিছু অংশ অদ্রাব্য অবস্থায় দ্রবণ থেকে অধঃক্ষিপ্ত হবে।

(ii) অপর দিকে বলা যায়—**কোনো নির্দিষ্ট উষ্ণতায় তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পদার্থের দ্রবণে, আয়নের গাঢ়ত্বের গুণফল যদি পদার্থটির ওই উষ্ণতায় দ্রাব্যতা-গুণফলের চেয়ে কম হয়, তাহলে ওই উষ্ণতায় পদার্থটির দ্রাব্যতা-গুণফলের মান যা হয়, সেই মানে না পৌঁছানো পর্যন্ত পদার্থটির আরো কিছুটা দ্রবণে দ্রবীভূত হবে।**

● উদাহরণ ঃ সমআয়নের প্রভাব ঃ NaCl জলে দ্রাব্য। NaCl-এর সম্পৃক্ত দ্রবণে NaCl বিয়োজিত হয়ে Na^+ এবং Cl^- আয়ন উৎপন্ন করে। $NaCl \rightleftharpoons Na^+ + Cl^-$. দ্রবণের সাম্যাবস্থায় NaCl-এর দ্রাব্যতা গুণফল $[Na^+] \times [Cl^-] = K_s$. এই অবস্থায় ওই দ্রবণের মধ্যে HCl গ্যাস চালনা করলে, দ্রবণটিতে Cl^- আয়নের গাঢ়ত্ব বেড়ে যায়। $HCl \rightleftharpoons H^+ + Cl^-$. এর ফলে NaCl-এর দ্রাব্যতা-গুণফল K_s-এর মান স্থির রাখার জন্য দ্রবণে উপস্থিত Na^+, বাড়তি Cl^- আয়নের সঙ্গে যুক্ত হয়ে বিয়োজিত NaCl অণুতে পরিণত হয়, ফলে Cl^- আয়নের গাঢ়ত্ব বৃদ্ধির অনুপাতে দ্রবণ থেকে বিশুদ্ধ NaCl অধঃক্ষিপ্ত হয়।

(ii) মৃদু ক্ষারক NH_4OH-এর দ্রবণে যদি NH_4Cl লবণ যোগ করা হয়, তাহলে NH_4Cl সম্পূর্ণ আয়নিত হয়ে NH_4^+ এবং Cl^- আয়ন দেয়।

$$NH_4OH \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-, \qquad NH_4Cl \rightleftharpoons NH_4^+ + Cl^-$$

এর ফলে দ্রবণে NH_4^+ আয়নের আধিক্য ঘটে। নির্দিষ্ট উষ্ণতায় NH_4OH-এর দ্রাব্যতা গুণফল $K_s = [NH_4^+] \times [OH^-]$ দ্রবণে NH_4Cl লবণ যোগ করলে, ওই দ্রবণে NH_4^+ আয়নের আধিক্য ঘটে। এই অবস্থায় ধ্রুবক K_s-এর মান স্থির রাখার জন্য

NH_4^+ আয়নের গাঢ়ত্ব কমাতে হবে। কিন্তু NH_4^+ আয়নের গাঢ়ত্ব কমে যদি NH_4^+ এবং OH^- আয়ন যুক্ত হয়ে অবিয়োজিত NH_4OH অণুতে পরিণত হয়। তাই এক্ষেত্রে NH_4^+ এবং OH^- আয়ন পরস্পর যুক্ত হয়ে NH_4OH অণুতে পরিণত হয় অর্থাৎ দ্রবণে NH_4OH-এর বিয়োজন কমে যায়।

সম আয়নের প্রভাবকে অন্যভাবে বলা যায় যে, **যদি মৃদু তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের দ্রবণে** (যেমন NH_4OH দ্রবণ যা আংশিক আয়নিত হয়) **এমন একটি তীব্র তড়িৎ-বিশ্লেষ্য যোগ করা হয়, যার একটি আয়ন হল সমআয়ন, তাহলে মৃদু তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের আয়নীভবন আরও কমে যায়।**

● **অ্যাসিড ও ক্ষারকের—আয়নীভবন মাত্রার উপর সমআয়নের প্রভাব ঃ**

মূলনীতি ঃ ধরি, একটি অ্যাসিড HA ($HA \rightleftharpoons H^+ + A^-$) রূপে আয়নিত হয়,

স্থির উষ্ণতায় যার আয়নীভবন ধ্রুবক $K_a = \dfrac{[H^+] \times [A^-]}{[HA]}$

এর আয়নীভবন মাত্রা $\alpha = \sqrt{K_b / C}$ যেখানে C = HA-এর মোলার গাঢ়ত্ব

সুতরাং দেখা যায় যে, HA-এর আয়নীভবন মাত্রার পরিবর্তন হতে পারে H^+ বা A^- আয়নের বাড়তি উপস্থিতির দ্বারা। অনুরূপে নির্দিষ্ট উষ্ণতায় ক্ষারক MOH-এর ক্ষেত্রে ($MOH \rightleftharpoons M^+ + OH^-$), আয়নীভবন ধ্রুবক K_b হল স্থির। স্থির উষ্ণতায় MOH-এর আয়নীভবন মাত্রা $\alpha = \sqrt{K_b / C}$. এখন দ্রবণে, অন্য কোনো উৎস থেকে M^+ বা OH^- আয়ন উপস্থিত থাকলে, α-এর মান পরিবর্তিত হয়।

● **রাসায়নিক বিশ্লেষণে দ্রাব্যতা-গুণফলের প্রয়োগ ঃ** পরীক্ষাগারে বিভিন্ন ধাতব মূলক সনাক্তকরণে এবং বিভিন্ন যৌগে রাসায়নিক পদার্থের সঠিক পরিমাণ নির্ণয়ে দ্রাব্যতা-গুণফল সম্বন্ধে জ্ঞান থাকা খুবই দরকার। দ্রাব্যতা-গুণফল জানা থাকলে বিভিন্ন যৌগ কখন কী অবস্থায় অধঃক্ষিপ্ত হবে, তা পরিষ্কার জানা যায়। যেমন—

Group I অধঃক্ষেপণ ঃ ধাতব মূলক সনাক্তকরণে Ag^+, Pb^{++} এবং Cu^+ (আস্) ধাতবমূলকগুলি Gr I-এ আছে। এই ধাতুগুলির ক্লোরাইড লবণ মোটামুটি স্বল্পদ্রাব্য। এগুলির সম্পৃক্ত দ্রবণে HCl যোগ করলে ($HCl \rightleftharpoons H^+ + Cl^-$) দ্রবণে Cl^- আয়নের আধিক্য ঘটে, ফলে দ্রবণে Cl^- আয়নের গাঢ়ত্ব বেড়ে যায়। এই অবস্থায় ওই সব ধাতব আয়ন (M^+) এবং (Cl^-) আয়নের গাঢ়ত্বের গুণফল $[M^+] \times [Cl^-]$ ওই ধাতব ক্লোরাইডগুলির দ্রাব্যতা গুণফলের চেয়ে বেশি হয়ে যায়। এর ফলে ওই ধাতব ক্লোরাইডগুলি অধঃক্ষিপ্ত হয়। পাশে দেওয়া দ্রাব্যতা-গুণফলের তালিকা লক্ষ করলে দেখা যায় যে $PbCl_2$-এর দ্রাব্যতা গুণফল, Ag^+ বা Cu^+ ক্লোরাইডের দ্রাব্যতা গুণফলের চেয়ে অনেক বেশি। তাই দ্রবণে Cl^- আয়নের গাঢ়ত্ব বাড়লেও $PbCl_2$-এর আয়নীয় গাঢ়ত্বের গুণফল, ওর দ্রাব্যতা গুণফলকে সামান্য অতিক্রম করে। তাই Gr-I-এর অধঃক্ষেপণে $PbCl_2$ সম্পূর্ণরূপে অধঃক্ষিপ্ত হয় না—আংশিক হয়। তাই Pb^{++} আয়নকে পরের Gr-IIA-তে H_2S চালনা করে সম্পূর্ণ অধঃক্ষিপ্ত করতে হয়।

ধাতব লবণ	25°C-এ দ্রাব্যতা গুণফল
AgCl	$1{\cdot}7 \times 10^{-10}$
Hg_2Cl_2	$1{\cdot}2 \times 10^{-12}$
$PbCl_2$	$1{\cdot}6 \times 10^{-5}$

Group II অধঃক্ষেপণ ঃ এই Group-এ Cu^{2+}, Pb^{2+}, Hg^{2+}(ic), Cd^{2+}, As^{3+}, Sb^{3+}, Bi^{3+} ধাতব মূলকগুলি আছে। ধাতব লবণগুলির দ্রবণে HCl যোগ করে উত্তপ্ত করে দ্রবণের মধ্যে H_2S চালনা করলে HgS (কালো), PbS (কালো) এবং CuS (কালো), CdS (হলুদ), As_2S_3 (হলুদ) ইত্যাদি অধঃক্ষিপ্ত হয়। H_2S জলীয় দ্রবণে $2H^+$ এবং S^{--} আয়ন উৎপন্ন করে। তাই দ্রবণে S^{--} আয়নের গাঢ়ত্ব বেড়ে যায়। এর ফলে ধাতব মূলক (M^{++}) এবং S^{--}-এর গাঢ়ত্বের গুণফল $\{[M^{++}] \times [S^{--}]\}$, ওই ধাতুগুলির সালফাইডের দ্রাব্যতা-গুণফলের চেয়ে বেশি হয়ে যায়, ফলে ধাতব সালফাইডগুলি অধঃক্ষিপ্ত হয়।

ধাতব লবণ	25°C-এ দ্রাব্যতা গুণফল
HgS	3×10^{-34}
PbS	4×10^{-28}
CuS	3×10^{-42}

Group III A অধঃক্ষেপণ ঃ এই Group-এ Fe^{+3}(ic), Al^{+3} ধাতব মূলক আছে। ধাতুগুলির লবণের দ্রবণে NH_4OH যোগ করে ওই ধাতুগুলির হাইড্রক্সাইডগুলিকে $Fe(OH)_3$ (বাদামি), $Al(OH)_3$ (সাদা আঠালো) অধঃক্ষিপ্ত করা হয়। NH_4OH যোগ করায় দ্রবণে OH^- আয়নের গাঢ়ত্ব বাড়ে। এর ফলে ধাতব আয়ন (M^{+3}) এবং OH^- আয়নের গাঢ়ত্বের গুণফল, ওই ধাতুগুলির হাইড্রক্সাইডের দ্রাব্যতা-গুণফলের চেয়ে বেশি হয়, তাই হাইড্রক্সাইডগুলি অধঃক্ষিপ্ত হয়। Zn, Mg প্রভৃতি ধাতুর হাইড্রক্সাইডগুলি যেন এই Group-এ অধঃক্ষিপ্ত না হয় সেইজন্য এই Group-এ যাওয়ার আগে তীব্র তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পদার্থ NH_4Cl (অতিরিক্ত) যোগ করা হয়, ফলে দ্রবণে NH_4^+ আয়নের প্রচুর সমাবেশ হয়।

ধাতব হাইড্রক্সাইড	25°C-এ দ্রাব্যতা গুণফল
$Fe(OH)_3$	1×10^{-35}
$Al(OH)_3$	1×10^{-33}

এই অবস্থায় **সম আয়ন প্রভাবে** NH_4OH-এর বিয়োজন কমে যায়। এর ফলে দ্রবণে OH^- আয়নের গাঢ়ত্ব এমন হয়, যেন এই Group-এর Fe, Al যাদের হাইড্রক্সাইডগুলির দ্রাব্যতা-গুণফল অপেক্ষাকৃত কম, কেবল সেই হাইড্রক্সাইডগুলি অধঃক্ষিপ্ত হয়। Gr.IV বা V-এর ক্যাটায়নগুলি যেমন, Zn, Mg প্রভৃতি ধাতুর হাইড্রক্সাইডগুলির দ্রাব্যতা-গুণফল এদের চেয়ে অনেক বেশি বলে অধঃক্ষিপ্ত হয় না।

● **Group III A-তে Fe বা Al-এর সঙ্গে Mg বা Zn-এর হাইড্রক্সাইড অধঃক্ষিপ্ত হয় না কেন?**

Group III A-তে যাওয়ার আগে লবণের দ্রবণের সঙ্গে তীব্র তড়িৎ-বিশ্লেষ্য অতিরিক্ত NH_4Cl যোগ করে দ্রবীভূত করার পর NH_4OH যোগ করা হয়। এর ফলে $Fe(OH)_3$ এবং $Al(OH)_3$ অধঃক্ষিপ্ত হয়, কিন্তু $Zn(OH)_2$ বা $Mg(OH)_2$ অধঃক্ষিপ্ত হয় না।

যৌগ	25°C-এ দ্রাব্যতা গুণফল
$Fe(OH)_3$	1×10^{-33}
$Fe(OH)_3$	1×10^{-35}
$Zn(OH)_2$	1×10^{-17}
$Mg(OH)_2$	1×10^{-12}

$Fe(OH)_3$ বা $Al(OH)_3$-এর দ্রাব্যতা গুণফল, $Zn(OH)_2$ এবং $Mg(OH)_2$-এর দ্রাব্যতা গুণফলের চেয়ে অনেক কম। লবণের দ্রবণের তীব্র তড়িৎ বিশ্লেষ্য পদার্থ NH_4Cl যোগ করায়, দ্রবণে NH_4^+ আয়নের গাঢ়ত্ব বেড়ে যায়। ফলে সম আয়নের প্রভাবে NH_4OH-এর বিয়োজন অনেক কমে যায়, যার জন্য দ্রবণে OH^--এর গাঢ়ত্ব খুব কম হয়। এই অবস্থায় $[Mg^{++}] \times [OH^-]$ আয়নের গাঢ়ত্বের গুণফল $Mg(OH)_2$-এর দ্রাব্যতা গুণফলের চেয়ে কম হয়, ফলে $Mg(OH)_2$ অধঃক্ষিপ্ত হয় না। ওই একই কারণে $Zn(OH)_2$-ও অধঃক্ষিপ্ত হয় না। কিন্তু যেহেতু $Al(OH)_3$ বা $Fe(OH)_3$-এর দ্রাব্যতা গুণফল খুব কম, তাই ওই লবণগুলির ধাতব Fe^{+3} বা Al^{+3} এবং OH^- আয়নের গাঢ়ত্বের গুণফল $Al(OH)_3$ বা $Fe(OH)_3$-এর দ্রাব্যতা গুণফলের বেশি হয়ে যায়, ফলে ওরা অধঃক্ষিপ্ত হয়।

● **গাণিতিক উদাহরণ :**

(1) কোনো দ্রবণে C_2H_5COOH অ্যাসিডের গাঢ়ত্ব 0·05 M হলে অ্যাসিডের আয়নীভবন মাত্রা নির্ণয় করো। দ্রবণে HCl যোগ করে দ্রবণটিতে ওই অ্যাসিডের গাঢ়ত্ব 0·01 M হলে, আয়নীভবন মাত্রা কত হবে? ($K_a = 1·32 \times 10^{-5}$)

Ans. আমরা জানি বিয়োজনমাত্রা $\alpha = \sqrt{K_a / c} = \sqrt{1·32 \times 10^{-5} / 0·05} = 1·62 \times 12^{-2}$

$$\underset{(c-x)}{C_2H_5COOH} \rightleftharpoons \underset{(x)}{C_2H_5COO^-} + \underset{(x)}{H^+}$$

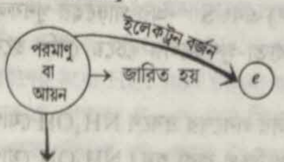
দ্রবণে HCl যোগ করলে সাম্যের সরণ বিপরীত দিকে হবে। যদি প্রাথমিক গাঢ়ত্ব = c এবং সাম্য অবস্থায় যদি x পরিমাণ বিয়োজিত হয় তাহলে সাম্যে $[C_2H_5COOH] = (c - x)$, $[C_2H_5COO^-] = x$, $[H^+] = 0·01 + x$

$K_a = \frac{x\,(0.01 + x)}{c - x} \approx \frac{0·01\,x}{c}$ [∵ x খুব ছোট] বা, $x/c = K_a/0.01 = \frac{1·32 \times 10^{-5}}{0·01} = 1·32 \times 10^{-3}$ বা, $\alpha = 1·32 \times 10^{-3}$

● জারণ-বিজারণ সাম্য ●

(Redox Equilibria)

5.19. জারণ ও বিজারণের ইলেকট্রনীয় মতবাদ [Electronic concept of Oxidation and Reduction]



চিত্র 5·1 : জারণ প্রক্রিয়া

সমস্ত রাসায়নিক বিক্রিয়ায় পরমাণুর যোজক-ইলেকট্রনগুলিই অংশ নেয়। পরমাণুগুলির মধ্যে সবচেয়ে বাইরের কক্ষের ইলেকট্রন আদান-প্রদান করেই দুটি পরমাণু পরস্পরের সঙ্গে মিলিত হয়ে যৌগ উৎপন্ন করে।

● **জারণ** (Oxidation) **: যে রাসায়নিক বিক্রিয়ায় কোনো পরমাণু বা আয়ন ইলেকট্রন বর্জন করে, তাকে জারণ বলে। অর্থাৎ রাসায়নিক বিক্রিয়ায় পরমাণু বা আয়নের ইলেকট্রন-সংখ্যা কমে গেলে বলা হয় যে, পরমাণু বা আয়নটি জারিত হয়েছে।**

● **উদাহরণ : (i) পরমাণু থেকে ইলেকট্রন বর্জিত হয়ে জারণ :** Na, Ca, Al প্রভৃতি ধাতুর পরমাণুগুলি ইলেকট্রন (e) বর্জন করে যথাক্রমে Na^+, Ca^{2+}, Al^{3+} আয়নে জারিত হয়—পরমাণুগুলি ইলেকট্রন ত্যাগ করে জারিত হয়ে ক্যাটায়নে পরিণত হয়েছে।

$Na - e \rightarrow Na^+$ $Ca - 2e \rightarrow Ca^{2+}$ $Al - 3e \rightarrow Al^{3+}$

(ii) ক্যাটায়ন থেকে ইলেকট্রন বর্জিত হয়ে জারণ ঃ Fe^{2+}, Cu^{+}, Sn^{2+} প্রভৃতি আয়নগুলি ইলেকট্রন ত্যাগ করে যথাক্রমে ফেরিক (Fe^{3+}), কিউপ্রিক (Cu^{2+}), স্ট্যানিক (Sn^{4+}) আয়নে জারিত হয়। এখানে নিম্নতর যোজ্যতার ক্যাটায়নগুলি জারিত হয়ে উচ্চতর যোজ্যতার ক্যাটায়নে পরিণত হয়।

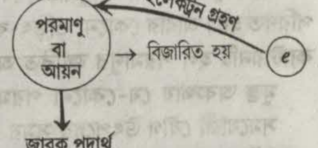
$Fe^{2+} - e = Fe^{3+}$ $\qquad$ $Cu^{+} - e = Cu^{2+}$ $\qquad$ $Sn^{2+} - 2e = Sn^{4+}$

(iii) অ্যানায়ন থেকে ইলেকট্রন বর্জিত হয়ে জারণ ঃ ক্লোরাইড, ব্রোমাইড, সালফাইড প্রভৃতি অ্যানায়নগুলি ইলেকট্রন ত্যাগ করে অধাতব মৌলে পরিণত হয়, ফলে আয়নগুলি জারিত হয়।

$2Cl^{-} - 2e = Cl_2$ $\qquad$ $S^{2-} - 2e = S$ $\qquad$ $2Br^{-} - 2e = Br_2$

উপরের উদাহরণগুলি থেকে জানা গেল যে, **জারণ হলে— (i) ধাতব মৌলের পরমাণু ক্যাটায়নে পরিণত হয়। (ii) নিম্ন যোজ্যতার ক্যাটায়ন (আস্) উচ্চ যোজ্যতার ক্যাটায়নে (ইক্) পরিণত হয়। (iii) অধাতব অ্যানায়ন জারিত হয়ে নিস্তড়িত পরমাণু অর্থাৎ মৌলে পরিণত হয়।**

● **বিজারণ (Reduction) ঃ যে রাসায়নিক বিক্রিয়ায় কোনো পরমাণু বা আয়ন ইলেকট্রন গ্রহণ করে, তাকে বিজারণ বলে। কোনো পরমাণু বা আয়নের মধ্যে ইলেকট্রনের সংখ্যা বৃদ্ধি পেলে বলা হয় যে পরমাণু বা আয়নটি বিজারিত হয়েছে।**



চিত্র 5·2 ঃ বিজারণ প্রক্রিয়া

(i) ক্যাটায়ন দ্বারা ইলেকট্রন গৃহীত হয়ে বিজারণ ঃ

Na^{+}, Cu^{2+}, Fe^{2+}, Al^{3+} ইত্যাদি ক্যাটায়নগুলি ইলেকট্রন গ্রহণ করে বিজারিত হয়ে যথাক্রমে Na, Cu, Fe, Al প্রভৃতি ধাতুতে পরিণত হয়।

$Na^{+} + e \rightarrow Na$ $\qquad$ $Al^{3+} + 3e \rightarrow Al$

$Fe^{2+} + 2e \rightarrow Fe$ $\qquad$ $Cu^{2+} + 2e \rightarrow Cu$

(ii) ক্যাটায়ন (ইক্) দ্বারা ইলেকট্রন গৃহীত হয়ে বিজারণ ঃ ফেরিক আয়ন Fe^{3+}, কিউপ্রিক আয়ন Cu^{++}, স্ট্যানিক আয়ন Sn^{4+} ইত্যাদি ক্যাটায়নগুলি ইলেকট্রন গ্রহণ করে বিজারিত হয়ে যথাক্রমে ফেরাস Fe^{++}, কিউপ্রাস Cu^{+}, স্ট্যানাস Sn^{++} আয়নে পরিণত হয়।

$Fe^{3+} + e \rightarrow Fe^{++}$ $\qquad$ $Cu^{++} + e \rightarrow Cu^{+}$ $\qquad$ $Sn^{4+} + 2e \rightarrow Sn^{++}$

(iii) পরমাণু দ্বারা ইলেকট্রন গৃহীত হয়ে বিজারণ ঃ ক্লোরিন, ব্রোমিন, সালফার, অক্সিজেন প্রভৃতি পরমাণুগুলি ইলেকট্রন গ্রহণ করে বিজারিত হয়ে যথাক্রমে Cl^{-}, Br^{-}, S^{2-}, O^{2-} আয়নে পরিণত হয়।

$Cl + e \rightarrow Cl^{-}$ $\qquad$ $O + 2e \rightarrow O^{2-}$ $\qquad$ $Br + e \rightarrow Br^{-}$

জারক পদার্থ ঃ জারণ-বিজারণ বিক্রিয়ায় যে পদার্থটি ইলেকট্রন গ্রহণ করে, তাকে জারক দ্রব্য বলে। অর্থাৎ, জারক পদার্থ হল ইলেকট্রন গ্রাহক।

ফ্লুওরিন পরমাণুর আয়তন ছোটো এবং ইলেকট্রো-নেগেটিভিটি সবচেয়ে বেশি। তাই সবচেয়ে শক্তিশালী জারক হল **ফ্লুওরিন।**

বিজারক পদার্থ ঃ জারণ-বিজারণ বিক্রিয়ায় যে পদার্থটি ইলেকট্রন বর্জন করে, তাকে বিজারক দ্রব্য বলে। অর্থাৎ, বিজারক পদার্থ হল **ইলেকট্রন দাতা।**

যে মৌলের পরমাণুর আয়তন বড়, আয়নীভবন বিভব এবং ইলেকট্রোনেগেটিভিটি কম সেই মৌল তত শক্তিশালী বিজারক। সবচেয়ে শক্তিশালী বিজারক হল Rb, Cs।

5.20. জারণ-মাত্রা বা জারণ অবস্থা ও জারণ-সংখ্যা [Oxidation state and Oxidation number]

বেশির ভাগ বিক্রিয়ায় ইলেকট্রন বর্জন বা গ্রহণ দ্বারা জারণ-বিজারণ ক্রিয়া ব্যাখ্যা করা হলেও এমন অনেক জারণ-বিজারণ বিক্রিয়া আছে, যেগুলিতে ইলেকট্রন বর্জন ও গ্রহণ দ্বারা জারণ-বিজারণ ঘটলেও এই ইলেকট্রন বর্জন ও গ্রহণ প্রক্রিয়া ভাল করে বোঝা যায় না।

যেমন সমযোজী যৌগ উৎপন্নের সময় ইলেকট্রন বর্জিত বা গৃহীত হয় না। তাই সমযোজী যৌগের ক্ষেত্রে ইলেকট্রন বর্জন বা গ্রহণ দ্বারা জারণ-বিজারণ প্রকাশ করা যায় না।

এই অসুবিধাগুলি দূর করার জন্য সমস্ত জারণ-বিজারণ ক্রিয়াকে অন্য একটি পদ্ধতির সাহায্যে প্রকাশ করার চেষ্টা করা হয়। **এই পদ্ধতিটির নাম জারণ-সংখ্যা পদ্ধতি।** এই পদ্ধতিটির প্রস্তাব করেন **ও. সি. জনসন** (O. C. Johnson)। প্রতিটি যৌগের মধ্যস্থ প্রতিটি উপাদান মৌলের যেমন একটা নির্দিষ্ট যোজ্যতা আছে, তেমনি মুক্ত অবস্থায় বা কোনো যৌগের মধ্যে থাকা অবস্থায় প্রতিটি মৌলের পরমাণুর এক-একটি নির্দিষ্ট জারণ অবস্থা, তথা জারণ সংখ্যা আছে বলে কল্পনা করা হয়।

জারণের ইলেকট্রনীয় মতবাদ অনুসারে Fe পরমাণু যখন দুটি ইলেকট্রন বর্জন করে, তখন Fe পরমাণু জারিত হয়ে ফেরাস Fe^{2+} আয়নে পরিণত হয় এবং ফেরাস যৌগ উৎপন্ন করে। যেমন, $FeCl_2$, $FeSO_4$ ইত্যাদি। $Fe - 2e \rightarrow Fe^{2+}$ (জারণ)

আয়রন পরমাণু তিনটি ইলেকট্রন বর্জন করে জারিত হয়ে ফেরিক Fe^{3+} আয়নে পরিণত হয় এবং ফেরিক যৌগ উৎপন্ন করে যেমন, $FeCl_3$, $Fe_2(SO_4)_3$ ইত্যাদি। $Fe - 3e \rightarrow Fe^{3+}$ (জারণ)

তাহলে দেখা গেল, আয়রন তার যৌগের মধ্যে দু'রকম জারিত অবস্থায় থাকতে পারে—1টি ফেরাস Fe^{2+} এবং অপরটি ফেরিক Fe^{3+} অবস্থা। ফেরাস অবস্থায় Fe পরমাণু 2টি ইলেকট্রন বর্জন করে **দ্বিমাত্রার জারিত অবস্থায়** Fe^{2+} আয়নরূপে থাকে, Fe^{2+} আয়নের চার্জ +2। ফেরিক অবস্থায় Fe পরমাণু 3টি ইলেকট্রন বর্জন করে **ত্রিমাত্রার জারিত অবস্থায়** Fe^{3+} আয়নরূপে থাকে, Fe^{3+} আয়নের চার্জ +3।

বিজারণের ইলেকট্রনীয় মতবাদ অনুযায়ী Cl পরমাণু ইলেকট্রন গ্রহণ করে বিজারিত হয়ে Cl^- আয়নে পরিণত হয়।

$$Cl + e \longrightarrow Cl^-$$

এই Cl^- আয়ন Fe^{2+} আয়নের সঙ্গে যুক্ত হয়ে ফেরাস ক্লোরাইড ($FeCl_2$) এবং Fe^{+3} আয়নের সঙ্গে যুক্ত হয়ে ফেরিক ক্লোরাইড ($FeCl_3$) উৎপন্ন করে। এই দুই যৌগে Cl পরমাণুটির বিজারিত অবস্থা হল Cl^- আয়ন। Cl^- আয়নের চার্জ হল (–1)।

ইলেকট্রনীয় মতবাদ অনুসারে, কোনো তড়িৎ-ধনাত্মক পরমাণু যখন ইলেকট্রন বর্জন করে, তখন পরমাণুটি জারিত হয়ে **ক্যাটায়নে** পরিণত হয়। আবার কোনো তড়িৎ-ঋণাত্মক পরমাণু যখন ইলেকট্রন গ্রহণ করে, পরমাণুটি বিজারিত হয়ে অ্যানায়নে পরিণত হয়। **ক্যাটায়নটি হল পরমাণুর জারিত অবস্থা এবং অ্যানায়নটি হল পরমাণুটির বিজারিত অবস্থা বা নেগেটিভ জারিত অবস্থা। মুক্ত অবস্থায় যে-কোনো পরমাণু (0) জারণ অবস্থায় আছে বলে ধরা হয়।**

সমযোজী যৌগ উৎপন্নের সময় পরমাণুগুলি সোজাসুজি ইলেকট্রন বর্জন বা গ্রহণ না করলেও—দুটি পরমাণু যখন নিজেদের মধ্যে ইলেকট্রন জোড় গঠনের মাধ্যমে পরস্পরের সঙ্গে সমযোজী বন্ধনে আবদ্ধ হয়, তখন পরমাণুগুলি নিজ নিজ তড়িৎ-ঋণাত্মকতার মান অনুযায়ী ওই ইলেকট্রন জোড়কে কমবেশি আকর্ষণ করে। যে পরমাণুর তড়িৎ-ঋণাত্মকতা বেশি, সেই পরমাণুটি ইলেকট্রন জোড়টিকে নিজের দিকে অনেকটা টেনে নেয়, ফলে ওই পরমাণুটি আংশিক নেগেটিভ তড়িৎগ্রস্ত হয়ে পড়ে বলে ধরা হয়। এই অবস্থায় পরমাণুটি বিজারিত অবস্থায় আছে বলে ধরা হয়। আবার যে পরমাণু থেকে ইলেকট্রন জোড়টি দূরে সরে যায়, সেই পরমাণুটি আংশিক পজিটিভ তড়িৎগ্রস্ত হয়ে জারিত অবস্থায় থাকে বলে ধরা হয়।

সুতরাং, কোনো পরমাণুর জারণ অবস্থার সংজ্ঞাকে নীচের মত প্রকাশ করা যায়—

● **জারণ-মাত্রা বা জারণ অবস্থা** (Oxidation state) **: রাসায়নিক বিক্রিয়ার আগে কোনো মুক্ত পরমাণু বা বিক্রিয়ার পরে যৌগের মধ্যে থাকা অবস্থায় কোনো পরমাণু, জারণ বা বিজারণের যে অবস্থায় থাকে, তাকে ওই পরমাণুর ওই অবস্থার জারণ-মাত্রা বা জারণ অবস্থা বলে।** যেমন,

$$2\overset{0}{Fe} + 3\overset{0}{Cl}_2 = 2\overset{+3}{Fe}\overset{-1}{Cl}_3$$

এখানে বিক্রিয়ার আগে Fe এবং Cl পরমাণু প্রত্যেকে মুক্ত অবস্থায় নিস্তড়িত থাকে, অর্থাৎ 0 জারণ-অবস্থায় থাকে। এই দুই পরমাণুর রাসায়নিক বিক্রিয়া হলে পর, Fe পরমাণুটি 3টি ইলেকট্রন বর্জন করে Fe^{+3} আয়নে জারিত হয় এবং Cl পরমাণু ওই বর্জিত ইলেকট্রনটি গ্রহণ করে Cl^- আয়নে বিজারিত হয়ে $FeCl_3$ অণু উৎপন্ন করে। তাহলে বিক্রিয়ার পরে উৎপন্ন $FeCl_3$ যৌগে, Fe পরমাণুটি তিন মাত্রার জারিত অবস্থায় থাকে এবং Cl পরমাণুটি একক মাত্রায় বিজারিত অবস্থায় থাকে। Fe-এর জারণ-অবস্থার পরিবর্তন হয় (0) থেকে (+3) এবং Cl পরমাণুর জারণ অবস্থার পরিবর্তন হয় (0) থেকে (–1)।

● **জারণ-সংখ্যা** (Oxidation number) **: মুক্ত অবস্থায় কিংবা কোনো যৌগের মধ্যে থাকা অবস্থায় কোনো পরমাণুর জারণ-মাত্রা বা জারণ অবস্থাকে যে সংখ্যা দিয়ে প্রকাশ করা হয়, সেই সংখ্যাটিকে ওই পরমাণুর ওই অবস্থার জারণ-সংখ্যা বলে।** অর্থাৎ

একটি যৌগের মধ্যস্থ কোনো পরমাণুকে নিস্তড়িত পরমাণুতে পরিণত করার জন্য যত-সংখ্যক ইলেকট্রন গ্রহণ বা বর্জন করা দরকার, সেই সংখ্যাটিকে ওই পরমাণুর ওই অবস্থায় জারণ-সংখ্যা বলে।

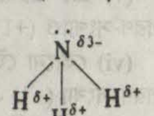
সমযোজী যৌগে কোনো মৌলের ফর্ম্যাল চার্জ = ওই মৌলের জারণ-সংখ্যা।

জারণ-বিজারণ ক্রিয়ায় যোজ্যতার পরিবর্তন হয়—এই ধারণা থেকেই জারণ-সংখ্যার সূত্রপাত হয়েছে।

(i) তড়িৎযোজী যৌগে জারণ সংখ্যা : একটি তড়িৎযোজী যৌগের মধ্যে থাকা অবস্থায় কোনো পরমাণু যত একক পজিটিভ বা নেগেটিভ চার্জ বহন করে, চিহ্ন সমেত সেই সংখ্যাটি হল ওই যৌগে পরমাণুটির জারণ-সংখ্যা। এই জাতীয় যৌগে কোনো পরমাণু যত সংখ্যক ইলেকট্রন বর্জন বা গ্রহণ করে, সেই সংখ্যাই ওই যৌগে পরমাণুটির জারণ-সংখ্যা স্থির করে। যেমন, ফেরাস লবণে আয়রনের (Fe^{2+}) জারণ-সংখ্যা (+2), কারণ Fe পরমাণু 2টি ইলেকট্রন বর্জন করে জারিত হয়ে Fe^{2+} আয়নরূপে ওই যৌগে

অবস্থান করে। এই Fe^{2+} আয়ন, 2টি ইলেকট্রন গ্রহণ করলে আবার নিস্তড়িত আয়রন পরমাণুতে পরিণত হবে। তাই $FeSO_4$ যৌগে Fe-এর জারণ-সংখ্যা = +2। ফেরিক ক্লোরাইড ($FeCl_3$) লবণে আয়রনের (Fe^{3+}) জারণ সংখ্যা (+3), কারণ Fe পরমাণু 3টি ইলেকট্রন বর্জন করে Fe^{3+} আয়নরূপে ফেরিক যৌগে অবস্থান করে। এই যৌগ দুটির মধ্যে প্রতিটি Cl পরমাণু 1টি করে ইলেকট্রন গ্রহণ করে Cl^- আয়নে বিজারিত হয়ে যৌগ দুটি গঠন করে। Cl^- আয়ন 1টি ইলেকট্রন বর্জন করলে নিস্তড়িত পরমাণুতে পরিণত হবে। সুতরাং Cl-এর জারণ সংখ্যা $FeCl_2$ বা $FeCl_3$ যৌগে (−1)।

(ii) সমযোজী যৌগে জারণ-সংখ্যা ঃ এই জাতীয় যৌগ উৎপন্নে পরমাণুগুলি কোনো ইলেকট্রন গ্রহণ বা বর্জন না করেই যৌগটি উৎপন্ন করে। 2টি পরমাণু যখন সমযোজী বন্ধন সৃষ্টি করে, তখন তারা নিজেদের মধ্যে এক বা একাধিক ইলেকট্রন জোড় গঠন করে। এই ইলেকট্রন জোড়কে পরমাণু দুটি আকর্ষণ করে। এই সমযোজী যৌগেও বিভিন্ন পরমাণুর জারণ-সংখ্যা আছে বলে ধরা হয়। যেমন, NH_3 অণুর মধ্যে 1টি N পরমাণু 3টি ইলেকট্রন জোড় গঠন করে 3টি H পরমাণুর সঙ্গে সমযোজী বন্ধন সৃষ্টি করে। N পরমাণুর ইলেকট্রো-নেগেটিভিটি H পরমাণুর চেয়ে বেশি বলে, ওই 3টি ইলেকট্রন জোড়কে N পরমাণু নিজের দিকে অনেকটা টেনে নেয়। ফলে ধরা হয় যে, NH_3 অণুর মধ্যে N পরমাণুটির আংশিক নেগেটিভ চার্জ = (δ^{3-})। প্রত্যেক H পরমাণু থেকে 1টি করে ইলেকট্রন জোড় N পরমাণুর দিকে সরে যায় বলে 3টি H পরমাণুর মোট আংশিক পজিটিভ চার্জ = (δ^{3-})। তাই NH_3 অণুতে N-এর জারণ-সংখ্যা = (−3) এবং H পরমাণুর জারণ-সংখ্যা = (+1), অর্থাৎ,



সমযোজী যৌগে 1টি পরমাণু যত সংখ্যক ইলেকট্রন জোড় গঠন করে, সেই সংখ্যাই হল তার জারণ-সংখ্যা।

সুতরাং মোটামুটিভাবে বলা যায়—

কোনো মৌলের 1টি পরমাণুকে মুক্ত অবস্থা থেকে তার যৌগে পরিণত করতে যত একক জারণ বা বিজারণ ঘটাতে হয়, সেই সংখ্যাই হল ওই যৌগে পরমাণুটির জারণ-সংখ্যা। পরমাণুটির জারণ হলে ওর জারণ-সংখ্যা হবে পজিটিভ এবং বিজারণ হলে জারণ-সংখ্যা নেগেটিভ হবে।

● জারণ-বিজারণ এবং জারণ-সংখ্যার ধারণা অনুযায়ী জারণ ও বিজারণ ঃ

জারণ ঃ যে রাসায়নিক পরিবর্তনে কোনো পরমাণু বা আয়নের জারণ-সংখ্যা বৃদ্ধি পায় তাকে জারণ বলে।

বিজারণ ঃ যে রাসায়নিক পরিবর্তনে কোনো পরমাণু বা আয়নের জারণ-সংখ্যা হ্রাস পায় তাকে বিজারণ বলে।

সংক্ষেপে বলা যায়, **জারণ সংখ্যা বৃদ্ধি = জারণ** **জারণ সংখ্যা হ্রাস = বিজারণ।**

জারণ-বিজারণ বিক্রিয়ায় যে পদার্থের মধ্যস্থ মৌলের জারণ সংখ্যা হ্রাস পায়, তাকে জারক পদার্থ বলে এবং যে পদার্থের মধ্যস্থ মৌলের জারণ সংখ্যার বৃদ্ধি পায়, তাকে বিজারক পদার্থ বলে।

উদাহরণ ঃ Na-এর সঙ্গে Cl_2-এর বিক্রিয়ায় Na পরমাণুটির জারণ-সংখ্যা 0 থেকে বৃদ্ধি পেয়ে (+1) হয়। সুতরাং Na পরমাণু Na^+ আয়নে জারিত হয় এবং Cl পরমাণুর জারণ-সংখ্যা 0 থেকে কমে (−1) হয়। সুতরাং Cl পরমাণুটি বিজারিত হয়ে Cl^- আয়নে পরিণত হয়।

$$2\overset{0}{Na} + \overset{0}{Cl_2} \rightarrow 2\overset{+1}{Na}\overset{-1}{Cl}$$

● জারক এবং বিজারক পদার্থের ক্রিয়াশীল মৌল ঃ জারক বা বিজারক পদার্থের মধ্যস্থ সব উপাদান মৌলগুলি জারণ-বিজারণ বিক্রিয়ায় অংশ নেয় না। **জারক পদার্থের উপাদান মৌলগুলির মধ্যে যে মৌলটির জারণ সংখ্যা কমে সেই মৌলটি হল ওই জারক পদার্থের প্রধান ক্রিয়াশীল মৌল। বিজারক পদার্থের উপাদান মৌলগুলির মধ্যে যে মৌলটির জারণ সংখ্যা বৃদ্ধি পায় সেটি হল ওই বিজারকের প্রধান ক্রিয়াশীল মৌল।**

ক্রিয়াশীল মৌল ছাড়া জারক বা বিজারক পদার্থে উপস্থিত অন্যান্য মৌলগুলির জারণ সংখ্যার পরিবর্তন হয় না।

● জারণ-সংখ্যা নির্ণয় করার পদ্ধতি ঃ কোনো যৌগের মধ্যস্থ 1টি পরমাণুর জারণ-সংখ্যা নির্ণয় করতে হলে নীচের বিষয়গুলি জানা দরকার—**(i) মুক্ত অবস্থায় পরমাণুর জারণ-সংখ্যা শূন্য (0) ধরা হয়।** যেমন, $\overset{0}{Cl_2}$, $\overset{0}{N_2}$, $\overset{0}{Na}$.

(ii) আয়নীয় ধাতব হাইড্রাইড ছাড়া, অন্যান্য হাইড্রোজেন-ঘটিত যৌগে H-এর জারণ-সংখ্যা (+1) ধরা হয়। ধাতব হাইড্রাইডে H-এর জারণ-সংখ্যা (−1)।

যেমন, $NaH \longrightarrow Na^+ + H^-$ এখানে H-এর জারণ-সংখ্যা (−1)

আবার, $HCl \longrightarrow H^+ + Cl^-$ এখানে H-এর জারণ-সংখ্যা (+1)

(iii) ধাতুর জারণ-সংখ্যা পজিটিভ ধরা হয়। সাধারণত, Gr IA-এর ধাতুর জারণ সংখ্যা +1, Gr IIA-এর ধাতুর জারণ সংখ্যা +2 হয়। যেমন, $CuO \longrightarrow Cu^{++} + O^{--}$ এখানে Cu-এর জারণ-সংখ্যা (+2)

(iv) অক্সিজেন এবং অন্যান্য অধাতুর (H_2 ছাড়া) জারণ-সংখ্যা সাধারণত নেগেটিভ হয়। যৌগের মধ্যে O_2-এর জারণ-সংখ্যা (–2) হয়। যেমন, $Cu\overset{-2}{O}$, $Na_2\overset{-2}{O}$, $\overset{-3}{P}H_3$.

যেসব অক্সিজেন-ঘটিত যৌগে O_2-এর চেয়ে বেশি ইলেকট্রোনেগেটিভ মৌল থাকে (যেমন F) এবং পারক্সাইড যৌগে এর ব্যতিক্রম হয়। যেমন, জলে (H_2O), H-এর জারণ-সংখ্যা (+1) এবং O_2-এর জারণ-সংখ্যা (–2), কিন্তু হাইড্রোজেন পারক্সাইডে H-এর জারণ-সংখ্যা (+1) এবং O-এর জারণ-সংখ্যা (–1)। BaO_2-এর মধ্যে O-এর জারণ-সংখ্যা (–1)। কিন্তু OF_2 যৌগে যেহেতু ফ্লুওরিন, অক্সিজেনের চেয়ে বেশি ইলেকট্রোনেগেটিভ; তাই F-এর জারণ-সংখ্যা (–1) এবং O-এর জারণ-সংখ্যা (+2)।

(v) এক পরমাণুক আয়নের জারণ-সংখ্যা আয়নটির চার্জের সমান হয়। যেমন, Na^+ আয়নের আধান (+1), তাই জারণ-সংখ্যাও (+1); Cl^- আয়নের আধান (–1), তাই জারণ-সংখ্যাও (–1)

(vi) কোনো যৌগের মধ্যে ওর উপাদান পরমাণুগুলির জারণ-সংখ্যার সমষ্টি সর্বদা শূন্য হয়। যেমন—HCl-এ H-এর জারণ-সংখ্যা (+1) এবং Cl-এর জারণ-সংখ্যা (–1)। উভয়ের সমষ্টি = (+1) + (–1) = 0।

(vii) সমযোজী যৌগের তড়িৎ বিয়োজন হয় না, তাই কাজের সুবিধার জন্য সমযোজী যৌগগুলিকেও তড়িৎযোজী যৌগরূপে ধরে নিয়ে ওর উপাদান পরমাণুগুলির জারণ-সংখ্যা নির্ণয় করা হয়। যেমন—CO_2-এর মধ্যে কার্বন এবং অক্সিজেন, C^{4+}-এবং O^{2-}-রূপে আছে বলে ধরা হয়। কাজেই CO_2 যৌগে C-এর জারণ-সংখ্যা (+4) এবং O-এর জারণ-সংখ্যা (–2)।

(viii) C, N, S, Cl, Mn প্রভৃতি কয়েকটি মৌলের পরিবর্তনশীল জারণ-সংখ্যা থাকে।

● **একই মৌলের জারণ-সংখ্যা কখনো পজিটিভ আবার কখনো নেগেটিভ হতে পারে। যেমন,**

C-এর জারণ-সংখ্যা ঃ $\overset{+4}{C}O_2$, $\overset{+2}{C}O$, $\overset{0}{C}H_2Cl_2$, $\overset{-1}{C}_2H_2$, $\overset{-2}{C}_2H_4$, $\overset{-3}{C}_2H_6$, $\overset{-4}{C}H_4$

N-এর জারণ-সংখ্যা ঃ $\overset{-3}{N}H_3$, $\overset{-2}{N}_2H_4$, $\overset{0}{N}_2$, $\overset{+1}{N}_2O$, $\overset{+2}{N}O$, $\overset{+3}{N}_2O_3$, $\overset{+4}{N}_2O_4$, $\overset{+5}{N}_2O_5$

S-এর জারণ-সংখ্যা ঃ $H_2\overset{+2}{S}$, $\overset{0}{S}$, $\overset{+4}{S}O_2$, $\overset{+6}{S}O_3$,

Cl-এর জারণ-সংখ্যা ঃ $Na\overset{-1}{C}l$, $K\overset{+5}{Cl}O_3$, $K\overset{+7}{Cl}O_4$, $\overset{+7}{Cl}_2O_7$,

Mn-এর জারণ-সংখ্যা ঃ $\overset{+2}{Mn}O$, $\overset{+4}{Mn}O_2$, $K_2\overset{+6}{Mn}O_4$, $K\overset{+7}{Mn}O_4$,

Fe-এর জারণ-সংখ্যা ঃ $\overset{+2}{Fe}O$, $\overset{+3}{Fe}_2O_3$, $Na_2\overset{+6}{Fe}O_4$

● **জারণ-সংখ্যা নির্ণয় করতে হলে নীচের বিষয়গুলি মনে রাখা প্রয়োজন ঃ**

পরমাণুর অবস্থা	জারণ-সংখ্যা (ON)	উদাহরণ
(1) মুক্ত অবস্থায় মৌলের O. N.	0 (শূন্য)	$\overset{0}{H}_2$, $\overset{0}{S}$, Mg
(2) যৌগ গঠনে **IA** শ্রেণির ধাতুর O.N.	+1	$\overset{+1}{Na}Cl$, $\overset{+1}{K}Br$, $\overset{+1}{K}_2SO_2$
(3) যৌগ গঠনে **IIA** শ্রেণির মৌলগুলি ধাতুর O. N.	+2	$\overset{+2}{Ca}Cl_2$, $\overset{+2}{Mg}CO_3$, $\overset{+2}{Ba}SO_4$
(4) যৌগ গঠনে **IIIB** শ্রেণির মৌলের O.N.	+3	$\overset{+3}{Al}Cl_3$, $\overset{+3}{Al}_2O_3$, $\overset{+3}{Al}_2(SO_4)_3$
(5) ধাতব হাইড্রাইডে H এর O.N.	–1	$Na\overset{-1}{H}$, $Ca\overset{-1}{H}_2$, $K\overset{-1}{H}$
(6) **ধাতব হাইড্রাইড** ছাড়া অন্যান্য H-ঘটিত যৌগে H-এর জারণ-সংখ্যা।	+1	$\overset{+1}{H}_2O$, $\overset{+1}{H}Cl$, $\overset{+1}{H}_2SO_4$
(7) পারক্সাইড যৌগে এবং F-এর সঙ্গে যুক্ত যৌগ ছাড়া অন্যান্য যৌগে O-এর O. N.	–2	$H_2\overset{-2}{O}$, $Mg\overset{-2}{O}$, $Cl_2\overset{-2}{O}_7$
(8) F-এর সঙ্গে যুক্ত অবস্থায় O-এর O. N.	+2, +1	$\overset{+2}{O}F_2$, $\overset{+1}{O}_2F_2$

পরমাণুর অবস্থা	জারণ-সংখ্যা (ON)	উদাহরণ
(9) পারক্সাইড যৌগে O এর O. N.	–1	$H_2\overset{-1}{O}_2$, $Na_2\overset{-1}{O}_3$, $Ba\overset{-1}{O}_2$
(10) যৌগের মধ্যে F-এর O. N.	– 1	$H\overset{-1}{F}$, $Ca\overset{-1}{F}_2$, NaF^{-1}
(11) O এবং F-এর সঙ্গে উৎপন্ন যৌগ ছাড়া Cl-এর O. N.	– 1	$H\overset{-1}{Cl}$, $Mg\overset{-1}{Cl}_2$ $Fe\overset{-1}{Cl}_3$
(12) এক পরমাণু বিশিষ্ট আয়নের O. N.	আয়নের চার্জের সমান	$\overset{-1}{Cl^-}$, $\overset{+1}{Na^+}$ $\overset{+3}{Fe^{3+}}$

● **যৌগের মধ্যস্থ মৌলের জারণ-সংখ্যা নির্ণয় করার পদ্ধতি ঃ**

(1) OF_2-এর মধ্যে O-এর জারণ-সংখ্যা ঃ ধরি, O-এর জারণ-সংখ্যা = x
তাহলে OF_2-এ উপাদান মৌলগুলির জারণ-সংখ্যার সমষ্টি = $2(-1) + x = (x-2)$
যেহেতু, যৌগের মধ্যস্থ মৌলগুলির জারণ-সংখ্যার সমষ্টি = 0 $\therefore x - 2 = 0$ বা, $x = (+2)$
$\therefore$ OF_2-এর মধ্যে O-এর জারণ-সংখ্যা = (+2)

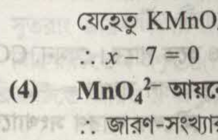
(2) CrO_4^{2-}-এ Cr-এর জারণ-সংখ্যা ঃ ধরি, Cr-এর জারণ-সংখ্যা = x
$\therefore$ পরমাণুগুলির জারণ-সংখ্যার সমষ্টি = $x + 4.(-2) = (x-8)$
CrO_4^{2-}-এর মধ্যস্থ পরমাণুগুলির জারণ-সংখ্যার সমষ্টি = আয়নের চার্জ = –2 $\therefore x - 8 = -2$ বা, $x = +6$
$\therefore$ CrO_4^{2-}-এর মধ্যে Cr-এর জারণ-সংখ্যা = (+6)

(3) $KMnO_4$ যৌগে Mn-এর জারণ-সংখ্যা ঃ ধরি, Mn-এর জারণ-সংখ্যা = x.
$KMnO_4$-এ বিভিন্ন মৌলগুলির জারণ-সংখ্যার সমষ্টি = $1 + x + 4 \times (-2) = 1 + x - 8 = x - 7$
যেহেতু $KMnO_4$-এ বিভিন্ন পরমাণুগুলির জারণ-সংখ্যার সমষ্টি = 0
$\therefore x - 7 = 0$ বা, $x = +7$ অর্থাৎ, $KMnO_4$-এ Mn-এর জারণ-সংখ্যা = (+7)

(4) MnO_4^{2-} আয়নে Mn-এর জারণ-সংখ্যা ঃ ধরি, Mn-এর জারণ-সংখ্যা = x.
$\therefore$ জারণ-সংখ্যার সমষ্টি = $x + 4(-2) = x - 8$.
অতএব, $x - 8 = -2$ (আয়নের আধান) বা, $x = -2 + 8 = +6$
$\therefore$ MnO_4^{2-} আয়নে Mn-এর জারণ-সংখ্যা = (+6)।

(5) $K_2Cr_2O_7$-এ Cr-এর জারণ-সংখ্যা ঃ
ধরি, Cr-এর জারণ-সংখ্যা = x. $\therefore$ জারণ-সংখ্যার সমষ্টি = $2(+1) + 2x + 7(-2) = 2x - 12$
$\therefore 2x - 12 = 0$ বা, $2x = +12$ বা, $x = (+6)$. সুতরাং $K_2Cr_2O_7$-এ Cr-এর জারণ-সংখ্যা = (+6)।

(6) CH_3COCH_3-এ C-এর জারণ-সংখ্যা (C – 1 এবং C – 2 এর জারণ সংখ্যা) ঃ
$CH_3COCH_3 = C_3H_6O$. ধরি, C-এর জারণ-সংখ্যা = x
$\therefore$ উপাদান মৌলগুলির জারণ-সংখ্যার সমষ্টি = $3x + 6(+1) + (-2) = 3x + 4$
$\therefore 3x + 4 = 0$ বা, $x = -4/3$. C-এর জারণ-সংখ্যা = $-4/3$.
জৈব যৌগটির গঠনে দেখা যায় C–1 পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত 3টি H পরমাণুর মোট জারণ সংখ্যা = +3. C—C বন্ধনের জন্য C–1 পরমাণুর জারণ সংখ্যার পরিবর্তন হয় না। সুতরাং C–1 পরমাণুর জারণ সংখ্যা = –3. অনুরূপে C–3-এর জারণ সংখ্যা = –3. C–2 পরমাণুর সঙ্গে 2টি C—C বন্ধন যুক্ত আছে এবং C–2 পরমাণুটি দ্বিবন্ধন দ্বারা O পরমাণু যুক্ত। C—C বন্ধনের জন্য C–2 পরমাণুর জারণ সংখ্যার পরিবর্তন হয় না। C–2 এর সঙ্গে যুক্ত O পরমাণুর জারণ সংখ্যা = –2. সুতরাং C–1 এর জারণ সংখ্যা = +2 হবে।



(7) $Na_2S_2O_3$-এর মধ্যে S-এর জারণ-সংখ্যা ঃ ধরি, S-এর জারণ-সংখ্যা = x

প্রতি Na পরমাণুর জারণ-সংখ্যা = +1; প্রতি O পরমাণুর জারণ-সংখ্যা = −2

∴ জারণ-সংখ্যার সমষ্টি = $2(+1) + 2x + 3(-2) = 2 + 2x - 6$. সুতরাং $2x - 4 = 0$ বা, $x = +2$

(8) $\mathbf{CrO_2Cl_2}$ যৌগে Cr-এর জারণ সংখ্যা, ধরি x, সুতরাং যৌগের পরমাণুগুলির জারণ সংখ্যার সমষ্টি $= x + 2 \times (-2) + 2(-1) = 0$ বা, $x - 6 = 0$ বা, $x = +6$. সুতরাং Cr-এর জারণ সংখ্যা = +6.

(9) $UO_2(NO_3)_2$ যৌগে U-এর জারণ সংখ্যা ধরি, x.
সুতরাং যৌগটির জারণ সংখ্যার সমষ্টি $= x + 2 \times (-2) + 2 \times (-1) = 0$ বা, $x - 6 = 0$ বা, $x = +6$

(10) Ca(OCl) Cl যৌগে (OCl) মূলকের Cl এবং Ca-এর সঙ্গে যুক্ত Cl-এর জারণ সংখ্যা কত?
OCl মূলকের Cl-এর জারণ সংখ্যা = x ধরি। মূলকটির জারণ সংখ্যার সমষ্টি = $(x - 2)$
OCl মূলকের চার্জ = −1 ∴ $x - 2 = -1$ বা, $x = +1$
Ca-এর সঙ্গে যুক্ত Cl পরমাণুর জারণ সংখ্যা = y ধরি। জারণ সংখ্যার সমষ্টি $= +2 + (-1) + y$ বা, $y + 1$
∴ $y + 1 = 0$ বা, $y = -1$

● **জারণ সংখ্যা ও যোজ্যতা ঃ** আপাতদৃষ্টিতে মৌলের জারণ সংখ্যা এবং যোজ্যতা এক মনে হলেও মৌলের যোজ্যতা ও জারণ-সংখ্যার মধ্যে অনেক পার্থক্য আছে।

(i) কোনো মৌলের যোজ্যতা হল অপর মৌলের সঙ্গে যুক্ত হওয়ার ক্ষমতা। যোজ্যতা সাধারণত পরিমাপ করা হয়, মৌলটির 1টি পরমাণু যত সংখ্যক H পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত হতে পারে সেই সংখ্যা দ্বারা। সুতরাং মৌলের যোজ্যতা হল সবসময় একটি অখণ্ড পজিটিভ সংখ্যা।

কোনো যৌগের মধ্যে থাকা অবস্থায় কোনো পরমাণুকে নিস্তড়িত পরমাণুতে পরিণত করার জন্য যত সংখ্যক ইলেকট্রন গ্রহণ বা বর্জন করা দরকার ওই সংখ্যাটিকে ওই পরমাণুর ওই অবস্থার জারণ-সংখ্যা বলে, যা পজিটিভ নেগেটিভ বা ভগ্নাংশ হতে পারে।

তড়িৎযোজী যৌগের ক্ষেত্রে এটা সম্ভব হলেও সমযোজী যৌগের ক্ষেত্রে এটি সম্ভব নয় তাই সমযোজী যৌগের ক্ষেত্রে জারণ সংখ্যা হল **কাল্পনিক**—অর্থাৎ, জারণ-সংখ্যা হল **ব্যবহারিক সুবিধার জন্য একটা ধারণামাত্র।**

(ii) কোনো মৌল যখন মুক্ত অবস্থায় থাকে সেই অবস্থায় ওর জারণ সংখ্যা শূন্য ধরা হয়। মুক্ত অবস্থায় কোনো মৌলের যোজ্যতা কখনো শূন্য হয় না। যেমন মুক্ত অবস্থায় Mg-এর জারণ সংখ্যা 0, কিন্তু Mg একটি দ্বিযোজী মৌল।

(iii) সংখ্যাগতভাবে কোনো **মৌলের জারণ-সংখ্যা এবং যোজ্যতা সমান হতে পারে আবার নাও হতে পারে।** যেমন, CCl_4 যৌগে C-এর যোজ্যতা = 4 এবং জারণ-সংখ্যা = +4. C_2H_4 যৌগে কার্বনের যোজ্যতা = 4, কিন্তু জারণ-সংখ্যা = −2.

(v) মৌলের যোজ্যতাকে কখনো (+) অথবা (–) চিহ্ন দ্বারা প্রকাশ করা হয় না। অপরদিকে মৌলের জারণ সংখ্যাকে, 0 (+) বা (–) চিহ্ন দ্বারা প্রকাশ করা হয়। যেমন HNO_3-তে N পরমাণুর যোজ্যতা = 5 কিন্তু জারণ-সংখ্যা = +5.

● **সর্বোচ্চ এবং সর্বনিম্ন জারণ-সংখ্যা বা জারণ অবস্থা ঃ**

অধিকাংশ মৌলের জারণ-সংখ্যা পরিবর্তনশীল। প্রত্যেকটি মৌলের একটি সর্বোচ্চ এবং একটি সর্বনিম্ন জারণ-সংখ্যা থাকে। মৌলের পরমাণুর সবচেয়ে বাইরের কক্ষের ইলেকট্রন-সংখ্যাই হল তার সর্বোচ্চ জারণ-সংখ্যা এবং মুক্ত অবস্থায় অথবা উত্তেজিত অবস্থায় অযুগ্ম (Unpaired) ইলেকট্রন-সংখ্যাই মৌলের সর্বনিম্ন জারণ-সংখ্যা। যেমন—N-এর ইলেকট্রন-বিন্যাস $1s^2 2s^2 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1$। যেহেতু N-পরমাণুর সবচেয়ে বাইরের কক্ষে 5টি ইলেকট্রন বর্তমান, তাই N-এর সর্বোচ্চ জারণ-সংখ্যা হল +5। আবার N-এর সবচেয়ে বাইরের কক্ষে 3টি অযুগ্ম (unpaired) ইলেকট্রন p_x, p_y এবং p_z অর্বিট্যালে বর্তমান। সুতরাং N-এর সর্বনিম্ন জারণ-সংখ্যা −3। অনুরূপভাবে, Cl এবং সর্বোচ্চ জারণ-সংখ্যা হল +7। কারণ Cl-এর সবচেয়ে বাইরের কক্ষে মোট 7টি ইলেকট্রন উপস্থিত আছে। $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p_x^2 3p_y^2 3p_z^1$, ক্লোরিনের সর্বনিম্ন জারণ-সংখ্যা −1। কারণ p_z অর্বিট্যালে একটি অযুগ্ম (unpaired) ইলেকট্রন বর্তমান থাকে।

● **জারণ-সংখ্যার সাহায্যে কোনো জারণ-বিজারণ বিক্রিয়ায় কোন্ পদার্থটি জারিত এবং কোন্ পদার্থটি বিজারিত হয়েছে নির্ণয় করা যায়, যেমন বিক্রিয়ার পর কোনো পরমাণুর জারণ-সংখ্যা বৃদ্ধি পেলে বুঝতে হবে পরমাণুটি জারিত হয়েছে, আর জারণ-সংখ্যা হ্রাস পেলে বুঝতে হবে পরমাণুটি বিজারিত হয়েছে।**

জারণ-সংখ্যা বৃদ্ধি হলে → জারণ	**জারণ-সংখ্যা হ্রাস হলে → বিজারণ**

যেমন—(i) $K_2\overset{+6}{Cr_2}O_7 + 3H_2\overset{-2}{S} + 4H_2SO_4 = K_2SO_4 + \overset{+3}{Cr_2}(SO_4)_3 + 3\overset{0}{S} + 7H_2O$

Cr পরমাণুর জারণ-সংখ্যা হ্রাস $[+3 - (+6)] = -3$, অর্থাৎ Cr পরমাণুর জারণ-সংখ্যা কমেছে, ∴ Cr বিজারিত হয়েছে।

S-এর জারণ-সংখ্যা বৃদ্ধি $[0-(-2)] = +2$ সুতরাং, S জারিত হয়েছে।

(ii) $2\overset{0}{Na} + \overset{0}{H_2} = 2\overset{+1}{Na}\overset{-1}{H}$—বিক্রিয়াটিতে দেখা যায় Na-এর জারণ সংখ্যা বৃদ্ধি $[+1-0] = +1$ একক, সুতরাং Na জারিত হয়েছে, অপরদিকে H-এর জারণ সংখ্যা হ্রাস $= [-1-0] = -1$ একক, সুতরাং H_2 বিজারিত হয়েছে। **বিক্রিয়াটিতে Na হল বিজারক এবং H_2 জারক।**

5.21. জারণ-সংখ্যার সাহায্যে রাসায়নিক সমীকরণ ব্যালান্স করার সাধারণ নিয়ম [General rules for balancing chemical equations by oxidation number]

(i) প্রথমে বিক্রিয়ক এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলির সংকেত লিখে **বিভিন্ন যৌগের মধ্যস্থ মৌলগুলির জারণ-সংখ্যার পরিবর্তন, সংখ্যার সাহায্যে প্রকাশ করা হয়।**

(ii) জারক ও বিজারকের জারণ-সংখ্যার পরিবর্তনের মোট সংখ্যা সমান রাখার জন্য জারক ও বিজারকের প্রত্যেককে এমন সংখ্যা দ্বারা গুণ করা হয়, যেন উভয়ের জারণ-সংখ্যার পরিবর্তনের মান একই হয়।

(iii) এই প্রক্রিয়ায় যদি সমীকরণে সমতা না আসে, তাহলে বিক্রিয়াগুলির যে অংশে জারণ বা বিজারণ ঘটেনি, তাদের সঙ্গে উপযুক্ত সংখ্যা গুণ করে সমতা আনতে হয়।

(iv) অনেক সময় সমীকরণে এমন সংখ্যার অন্য অণু বা আয়ন যোগ করতে হয় (যেমন H_2O, অ্যাসিড ইত্যাদি) বিক্রিয়াটিতে যেগুলির উপস্থিতির প্রয়োজন হয়। এগুলির সাহায্যে সমীকরণে সমতা আনতে হয়।

● **জারণ-সংখ্যার সাহায্যে সমীকরণ ব্যালান্স করার পদ্ধতি নীচের কয়েকটি উদাহরণের সাহায্যে দেখানো হল।**

(1) $\overset{0}{Cu} + H\overset{+5}{N}O_3 \rightarrow \overset{+2}{Cu}(NO_3)_2 + \overset{+1}{N_2}O + H_2O$

বিক্রিয়াটিতে Cu-এর জারণ-সংখ্যা 0 থেকে +2 হয় অর্থাৎ জারণ-সংখ্যা বাড়ে। সুতরাং Cu জারিত হয়েছে। N-এর জারণ-সংখ্যা +5 থেকে +1 হয় অর্থাৎ জারণ-সংখ্যা কমে, সুতরাং N বিজারিত হয়।

Cu পরমাণুর জারণ-সংখ্যা বৃদ্ধি $= [+2-(0)] = +2$ (জারণ)

N পরমাণুর জারণ-সংখ্যা হ্রাস $= [+1-(+5)] = -4$ (বিজারণ)

দেখা যায় জারণ-সংখ্যার হ্রাস-বৃদ্ধি সমান করতে হলে 4 পরমাণু Cu এবং 2 পরমাণু N-এর দরকার।

সুতরাং জারণ-সংখ্যা দ্বারা সমতাযুক্ত সমীকরণটি— $4Cu + 2HNO_3 \rightarrow 4Cu(NO_3)_2 + N_2O + H_2O$

বিক্রিয়াটিতে 4 অণু $Cu(NO_3)_2$ লবণ উৎপন্ন হয়। এই লবণ উৎপন্নের জন্য 8টি NO_3 মূলক আসে 8 অণু HNO_3 থেকে। সুতরাং বিক্রিয়াটিতে আরও 8 অণু HNO_3-এর দরকার। অতএব সমতাযুক্ত সমীকরণটি হবে—

$$4Cu + 10HNO_3 = 4Cu(NO_3)_2 + N_2O + 5H_2O$$

(2) $\overset{0}{Cu} + H\overset{+5}{N}O_3 \rightarrow \overset{+2}{Cu}(NO_3)_2 + \overset{+2}{N}O + H_2O$

বিক্রিয়াটিতে Cu-এর জারণ-সংখ্যা 0 থেকে +2 হয়, অর্থাৎ জারণ-সংখ্যা বাড়ে। তাই Cu জারিত হয়। N-এর জারণ-সংখ্যা +5 থেকে +2 হয়, সুতরাং জারণ-সংখ্যা কমে, তাই N বিজারিত হয়।

Cu পরমাণুর জারণ-সংখ্যা বৃদ্ধি $= [+2-0] = +2$ (জারণ)

N পরমাণুর জারণ-সংখ্যা হ্রাস $= [+2-(+5)] = -3$ (বিজারণ)

দেখা যায় জারণ-সংখ্যার হ্রাস-বৃদ্ধি সমান করতে হলে 3টি Cu পরমাণু এবং 2টি N পরমাণুর দরকার।

জারণ-সংখ্যা দ্বারা সমতাযুক্ত সমীকরণটি— $3Cu + 2HNO_3 \rightarrow 3Cu(NO_3)_2 + 2NO + H_2O$

এখন, 3 অণু $Cu(NO_3)_2$ উৎপন্নের জন্য 6টি NO_3 মূলকের প্রয়োজন হয়। এই 6টি NO_3 মূলক আসে 6 অণু HNO_3 থেকে। সুতরাং এই বিক্রিয়ায় আরও 6 অণু HNO_3 এর দারকার। অতএব সমতাযুক্ত সমীকরণটি হল—

$$3Cu + 8HNO_3 = 3Cu(NO_3)_2 + 2NO + 4H_2O$$

(3) $K_2\overset{+6}{Cr_2}O_7 + H_2\overset{-2}{S} \rightarrow K_2SO_4 + \overset{+3}{Cr_2}(SO_4)_3 + \overset{0}{S}$

বিক্রিয়াটিতে : S পরমাণুর জারণ-সংখ্যা বৃদ্ধি $= 0-(-2)] = +2$ (S-এর জারণ)

Cr পরমাণুর জারণ-সংখ্যা হ্রাস $= [(+3)-(+6)] = -3$ (Cr-এর বিজারণ)

এখন জারণ-সংখ্যার হ্রাস-বৃদ্ধি সমান করার জন্য 3 পরমাণু S এবং 2 পরমাণু Cr দরকার। তাহলে সমীকরণটি দাঁড়াল,

$$K_2Cr_2O_7 + 3H_2S \rightarrow K_2SO_4 + Cr_2(SO_4)_3 + 3S$$

এখন দেখা যাচ্ছে যে, $Cr_2(SO_4)_3$ এবং K_2SO_4 লবণ দুটি উৎপন্নের জন্য 4টি SO_4 মূলকের প্রয়োজন। এই 4টি SO_4 মূলক আসে 4 অণু H_2SO_4 থেকে। এর জন্য 4 অণু H_2SO_4 অ্যাসিডের প্রয়োজন। তাহলে সমতাযুক্ত সমীকরণটি হবে—

$$K_2Cr_2O_7 + 3H_2S + 4H_2SO_4 = K_2SO_4 + Cr_2(SO_4)_3 + 3S + 7H_2O$$

(4) $$\mathbf{K\overset{+7}{Mn}O_4 + H_2SO_4 + H_2\overset{-1}{O_2} \rightarrow K_2SO_4 + \overset{+2}{Mn}SO_4 + H_2O + \overset{0}{O_2}}$$

বিক্রিয়াটিতে ঃ O-পরমাণুর জারণ-সংখ্যা বৃদ্ধি $= [0-(-1)] = +1$ (জারণ)

Mn-পরমাণুর জারণ-সংখ্যা হ্রাস $= [+2-(+7)] = -5$ (বিজারণ)

জারণ-সংখ্যার হ্রাস-বৃদ্ধি সমান করতে হলে (5×2) সংখ্যক O পরমাণু এবং (1×2) সংখ্যক Mn পরমাণুর দরকার। সুতরাং জারণ-সংখ্যা দ্বারা সমতা যুক্ত সমীকরণটি—$2KMnO_4 + H_2SO_4 + 5H_2O_2 \rightarrow K_2SO_4 + 2MnSO_4 + 5O_2 + H_2O$

এখন $K_2SO_4 + 2MnSO_4$ লবণ উৎপন্নে 3টি SO_4 মূলক দরকার—এই তিনটি SO_4 মূলক আসে 3 অণু H_2SO_4 থেকে। সুতরাং বিক্রিয়াটিতে 3 অণু H_2SO_4-এর প্রয়োজন হবে।

সমতাযুক্ত সমীকরণটি হল—$2KMnO_4 + 3H_2SO_4 + 5H_2O_2 = K_2SO_4 + 2MnSO_4 + 8H_2O + 5O_2$

(5) $$\mathbf{H_2\overset{-2}{S} + \overset{+4}{S}O_2 \rightarrow \overset{0}{S} + H_2O}$$

অর্থাৎ, সমীকরণটিকে এভাবেও লেখা যায়— $H_2\overset{-2}{S} + \overset{+4}{S}O_2 \rightarrow \overset{0}{S} + \overset{0}{S} + H_2O$

কারণ H_2S-এর S জারিত হয়ে S উৎপন্ন করে এবং SO_2-এর S বিজারিত হয়ে S উৎপন্ন করে।

H_2S-এর S পরমাণুর জারণ-সংখ্যা বৃদ্ধি $= [0-(-2)] = +2$ (জারণ)

SO_2-এর S পরমাণুর জারণ-সংখ্যা হ্রাস $= [0-(+4)] = -4$ (বিজারণ)

জারণ-সংখ্যার হ্রাস-বৃদ্ধি সমান করতে হলে H_2S-এর S পরমাণু 2টি এবং SO_2-এর S পরমাণুর 1টি দরকার। সুতরাং সমতাযুক্ত সমীকরণটি—$2H_2S + SO_2 = 2S + S + 2H_2O$ বা, $2H_2S + SO_2 = 3S + 2H_2O$

(6) $$\mathbf{K_2\overset{+6}{Cr}_2O_7 + H_2SO_4 + K\overset{-1}{I} \rightarrow K_2SO_4 + \overset{+3}{Cr}_2(SO_4)_3 + \overset{0}{I}_2 + H_2O}$$

এখানে $K_2Cr_2O_7$-এর Cr বিজারিত হয়ে $Cr_2(SO_4)_3$ এবং KI-এর I জারিত হয়ে মুক্ত I_2 উৎপন্ন করে।

I-পরমাণুর জারণ-সংখ্যা বৃদ্ধি $= [0-(-1)] = +1$

Cr-পরমাণুর জারণ-সংখ্যা হ্রাস $= (+3)-(+6)] = -3$

জারণ-সংখ্যার হ্রাস-বৃদ্ধি সমান করতে হলে 3টি I পরমাণু এবং 1টি Cr পরমাণু দরকার। কিন্তু যেহেতু $K_2Cr_2O_7$-তে 2টি Cr পরমাণু আছে, সুতরাং, Cr এবং I পরমাণুর সংখ্যার অনুপাত $(1 \times 2) : (3 \times 2)$ হওয়া উচিত। সুতরাং জারণ-সংখ্যা দ্বারা সমতাযুক্ত সমীকরণটি হল—

$$K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4 + 6KI \rightarrow 4K_2SO_4 + Cr_2(SO_4)_3 + 3I_2 + H_2O$$

লবণ উৎপন্ন করতে $[4K_2SO_4 + Cr_2(SO_4)_3]$ মোট 7টি H_2SO_4 অণুর দরকার।

অতএব, সমতাযুক্ত সমীকরণটি— $K_2Cr_2O_7 + 7H_2SO_4 + 6KI = 4K_2SO_4 + Cr_2(SO_4)_3 + 3I_2 + 7H_2O$

(7) $$\mathbf{P + NaOH \rightarrow P_2H_4 + NaH_2PO_2}$$

বিক্রিয়াটিকে নীচের মত লেখা যায়— $\overset{0}{P} + \overset{0}{P} + NaOH \rightarrow \overset{-2}{P}_2H_4 + NaH_2\overset{+1}{P}O_2$

P_2H_4 উৎপাদনে P পরমাণুর জারণ-সংখ্যা হ্রাস $= [-2-0] = -2$ একক (বিজারণ)

NaH_2PO_2 উৎপাদনে P পরমাণুর জারণ-সংখ্যা বৃদ্ধি $= [+1-0] = +1$ একক (জারণ)

এখন উভয় পরমাণুর জারণ-সংখ্যার হ্রাস-বৃদ্ধি সমান করতে হলে P পরমাণুর জারণের জন্য 2টি এবং বিজারণের জন্য 1টি P পরমাণুর দরকার। যেহেতু P_2H_4 এ দুটি P পরমাণু আছে তাই P পরমাণুর জারণের জন্য $2 \times 2 = 4$টি এবং বিজারণের জন্য $1 \times 2 = 2$টি P পরমাণুর দরকার। সুতরাং জারণ পদ্ধতিতে সমতাযুক্ত সমীকরণটি হল—

$2P + 4P + NaOH + H_2O \rightarrow P_2H_4 + 4NaH_2PO_2$ বা, $6P + 4NaOH + 4H_2O = P_2H_4 + 4NaH_2PO_2$

(8) $$\mathbf{\overset{+3}{Cr}_2O_3 + Na_2\overset{-1}{O_2} + H_2O \rightarrow Na_2\overset{+6}{Cr}O_4 + Na\overset{-2}{O}H}$$

দেখা যায় Cr পরমাণুর জারণ-সংখ্যা +3 থেকে +6 হয়, অর্থাৎ জারণ-সংখ্যা বাড়ে, তাই Cr জারিত হয়। অপরদিকে Na_2O_2-এর O পরমাণুর জারণ-সংখ্যা –1 থেকে –2 হয়, অর্থাৎ কমে, তাই এর বিজারণ হয়।

Cr পরমাণুর জারণ-সংখ্যা বৃদ্ধি $= [+6-(+3)] = +3$ একক (জারণ)

Na_2O_2-এর O পরমাণুর জারণ-সংখ্যা হ্রাস $= [-2-(-1)] = -1$ একক (বিজারণ)

দেখা যায় উভয় পরমাণুর জারণ-সংখ্যার হ্রাস-বৃদ্ধি সমান করতে হলে 1টি Cr পরমাণু এবং 3টি O পরমাণুর দরকার। এখন যেহেতু Cr_2O_3-তে 2টি Cr পরমাণু উপস্থিত, সুতরাং এক্ষেত্রে $3 \times 2 = 6$টি O পরমাণু এবং $1 \times 2 = 2$টি Cr পরমাণুর দরকার। সুতরাং জারণ-বিজারণ দ্বারা সমতাযুক্ত সমীকরণটি হল— $Cr_2O_3 + 3Na_2O_2 + H_2O = 2Na_2CrO_4 + 2NaOH$

(9) $\overset{0}{S} + H_2\overset{+6}{S}O_4 \rightarrow \overset{+4}{S}O_2 + H_2O$ [*H.S. '90, '98*]

বিক্রিয়াটিতে S পরমাণুর জারণ-সংখ্যা 0 থেকে +4 হয় অর্থাৎ জারণ-সংখ্যা বাড়ে তাই S জারিত হয়।

H_2SO_4-এর S পরমাণুর জারণ-সংখ্যা +6 থেকে +4 হয় অর্থাৎ জারণ-সংখ্যার হ্রাস হয়। তাই H_2SO_4 বিজারিত হয়েছে। এখানে মুক্ত S পরমাণুর জারণ সংখ্যা বৃদ্ধি $= [+4-0] = +4$ একক (জারণ)। H_2SO_4-এর S পরমাণুর জারণ-সংখ্যা হ্রাস $= [+4-(+6)] = -2$ একক (বিজারণ)। দেখা যায় জারণ সংখ্যার হ্রাস বৃদ্ধি সমান করতে হলে 1টি মুক্ত S পরমাণু এবং 2টি H_2SO_4-এর S পরমাণুর দরকার। সুতরাং জারণ সংখ্যা দ্বারা সমতাযুক্ত সমীকরণটি হল—

$$S + 2H_2SO_4 = 3SO_2 + 2H_2O$$

(10) $K\overset{+7}{Mn}O_4 + \overset{+2}{Fe}SO_4 + H_2SO_4 \rightarrow K_2SO_4 + \overset{+2}{Mn}SO_4 + \overset{+3}{Fe_2}(SO_4)_3 + H_2O$

Fe-এর জারণ-সংখ্যা বৃদ্ধি $= [3-(+2)] = +1$ (Fe জারিত)

Mn-এর জারণ-সংখ্যা হ্রাস $= [2-(+7)] = -5$ (Mn বিজারিত)

জারণ-সংখ্যার হ্রাস-বৃদ্ধি সমান করতে হলে 5 পরমাণু Fe এবং এক পরমাণু Mn প্রয়োজন। কিন্তু যেহেতু বিক্রিয়াজাত পদার্থ $Fe_2(SO_4)_3$-এ 2টি Fe পরমাণু আছে, তাই 2×5 পরমাণু Fe এবং 1×2 পরমাণু Mn-এর প্রয়োজন। সুতরাং জারণ-সংখ্যা দ্বারা সমতাযুক্ত সমীকরণটি— $2KMnO_4 + 10FeSO_4 + H_2SO_4 \rightarrow K_2SO_4 + 2MnSO_4 + 5Fe_2(SO_4)_3 + H_2O$

এখন দেখা যায়, সালফেট লবণ উৎপন্নের জন্য 18টি SO_4 মূলক প্রয়োজন। এর মধ্যে $10FeSO_4$-এ 10টি SO_4^- মূলক আছে। অতএব আরও 8টি SO_4 মূলকের জন্য 8 অণু H_2SO_4-এর প্রয়োজন।

অতএব সমীকরণটি— $2KMnO_4 + 10FeSO_4 + 8H_2SO_4 = K_2SO_4 + 2MnSO_4 + 5Fe_2(SO_4)_3 + 8H_2O$

5.22. আয়ন-ইলেকট্রন পদ্ধতি দ্বারা সমীকরণ সমতাযুক্ত করার পদ্ধতি [Balancing a chemical equation by ion-electron method]

আয়ন-ইলেকট্রন পদ্ধতিতে সমীকরণ সমতাযুক্ত করতে হলে, নীচের প্রক্রিয়াগুলির পর পর সম্পাদন করতে হবে—

(1) বিক্রিয়াটিকে আয়ন ও ইলেকট্রনের সাহায্যে দুটি অর্ধবিক্রিয়ায় ভাগ করা হয়—একটি অর্ধবিক্রিয়া হল বিজারক পদার্থের জন্য যে পরিবর্তন হয় (বিজারণ অর্ধবিক্রিয়া) এবং অপরটি হল জারক পদার্থের জন্য যে পরিবর্তনটি হয় (জারণ অর্ধবিক্রিয়া)।

(2) অর্ধবিক্রিয়ায় সাধারণত যে সমস্ত আয়ন বা মূলকের জারণ-বিজারণ ঘটে না, তাদের দেখানো হয় না।

(3) একটি অর্ধবিক্রিয়ায় জারণ এবং অন্য অর্ধবিক্রিয়াটিতে বিজারণ দেখানো হয়। যে অর্ধবিক্রিয়াটিতে জারণ হয়, সেই বিক্রিয়ায় ইলেকট্রন (e) পরিবর্তন ডানদিকে দেখানো হয়—এর দ্বারা বর্জন বোঝায়। যে অর্ধবিক্রিয়াটিতে বিজারণ হয়, সেটিতে ইলেকট্রন (e) পরিবর্তন বামদিকে দেখানো হয়—এর দ্বারা e-গ্রহণ বোঝায়।

(4) প্রত্যেক অর্ধবিক্রিয়াকে, ওর মধ্যে যে মৌলগুলির থাকে, সেগুলির প্রত্যেকটির পরমাণুর সংখ্যা অনুযায়ী সমতা যুক্ত করা হয়। এর জন্য নীচের বিষয়গুলি সম্পন্ন করতে হয়।

(i) প্রত্যেক অর্ধবিক্রিয়ায় H এবং O পরমাণু ছাড়া অন্য পরমাণুগুলির সংখ্যার মধ্যে সমতা স্থাপন করা হয়।

(ii) **প্রশম বা আম্লিক দ্রবণে** H অথবা O পরমাণুকে ব্যালান্স করার জন্য H_2O বা H^+ যোগ করা হয়। প্রথমে O পরমাণুকে ব্যালান্স করা হয়। সমীকরণটির একপাশে বাড়তি O পরমাণুর জন্য অন্য পাশে H_2O যোগ করা হয়। এরপর H পরমাণুকে ব্যালান্স করার জন্য H^+ আয়ন ব্যবহার করা হয়।

(iii) **ক্ষারীয় দ্রবণে** OH^- আয়ন ব্যবহার করা হয়। কোনো এক পাশে বাড়তি O পরমাণু থাকলে ওই পাশেই একটি H_2O যোগ করে অন্য পাশে 2টি OH^- যোগ করা হয়। H পরমাণু যদি তখনও ব্যালান্স না হয়, তবে প্রত্যেক বাড়তি H পরমাণুর জন্য একই পাশে 1টি OH^- যোগ করা হয় এবং বিপরীতদিকে 1টি করে H_2O যোগ করা হয়। ক্ষারীয় দ্রবণে কোনোমতেই H^+ ব্যবহার করা চলবে না।

(5) এরপর উভয় দিকের চার্জ সমান করা হয়—যে পাশে নেগেটিভ চার্জ কম থাকে, সেই পাশে ইলেকট্রন যোগ করে উভয় পাশের চার্জ সমান করা হয়।

(6) এইভাবে করার পর দুটি অর্ধবিক্রিয়ায় ইলেকট্রনের সংখ্যা যদি সমান না হয়, তাহলে বিক্রিয়া দুটির মধ্যে একটিকে বা দরকার হলে দুটিকেই সামগ্রিকভাবে একটি লঘিষ্ঠ সংখ্যা দ্বারা গুণ করে ইলেকট্রনের সংখ্যার মধ্যে সমতা আনা হয়।

(7) এইভাবে প্রাপ্ত সমতাযুক্ত অর্ধবিক্রিয়া দুটি যোগ করে, ওদের মধ্যে সাধারণ পদার্থকে উভয় পাশ থেকে বাদ দিলেই সমতাযুক্ত সমীকরণ পাওয়া যাবে।

● **উদাহরণ ঃ (1) আম্লিক $KMnO_4$ দ্রবণ দ্বারা SO_3^{2-}-এর জারণের ফলে SO_4^{2-}-এ পরিণত হওয়ার বিক্রিয়া ধরা হলে—**

জারণ ($SO_3^{2-} \rightarrow SO_4^{2-}$)

$$H^+ + MnO_4^- + SO_3^{2-} \longrightarrow Mn^{++} + SO_4^{2-}$$

বিজারণ ($MnO_4^- \rightarrow Mn^{++}$)

বিভিন্ন ধাপ	বিজারণ অর্ধবিক্রিয়া	জারণ অর্ধবিক্রিয়া
(i) সমগ্র জারণ-বিজারণ সমীকরণটিকে দুটি অর্ধভাগে ভাগ করা হল।	$MnO_4^- \rightarrow Mn^{++}$	$SO_3^{2-} \rightarrow SO_4^{2-}$
(ii) অর্ধবিক্রিয়ার H এবং O পরমাণুগুলির মধ্যে সমতা স্থাপন করা হল।	$MnO_4^- + 8H^+ \rightarrow Mn^{++} + 4H_2O$	$SO_3^{2-} + H_2O \rightarrow SO_4^{2-} + 2H^+$
(iii) উভয় অর্ধবিক্রিয়ায় দুই পাশে e যোগ করে চার্জ সমান করা হল।	$MnO_4^- + 8H^+ + 5e \rightarrow Mn^{++} + 4H_2O$	$SO_3^{2-} + H_2O \rightarrow SO_4^{2-} + 2H^+ + 2e$
(iv) উভয় অর্ধবিক্রিয়ায় ইলেকট্রনের সংখ্যা সমান করা হল।	$2 \times [MnO_4^- + 8H^+ + 5e \rightarrow Mn^{++} + 4H_2O]$	$5 \times [SO_3^{2-} + H_2O \rightarrow SO_4^{2-} + 2H^+ + 2e]$

(v) এইবার সমতাযুক্ত অর্ধবিক্রিয়া দুটিকে যোগ করে সাধারণ পদার্থগুলিকে উভয় দিক থেকে বাদ দিয়ে—

বিজারণ অর্ধবিক্রিয়া → $2MnO_4^- + 16H^+ + 10e \rightarrow 2Mn^{++} + 8H_2O$

জারণ অর্ধবিক্রিয়া → $5SO_3^{2-} + 5H_2O \rightarrow 5SO_4^{2-} + 10H^+ + 10e$

জারণ-বিজারণ বিক্রিয়া → $2MnO_4^- + 5SO_3^{2-} + 6H^+ \rightleftharpoons 2Mn^{++} + 5SO_4^{2-} + 3H_2O$

(2) $KMnO_4$-এর সঙ্গে অ্যাসিড-যুক্ত $FeSO_4$-এর বিক্রিয়ায় $FeSO_4$ জারিত হয়ে ফেরিক সালফেট উৎপন্ন করে।

এখানে $FeSO_4$-এর Fe^{++} আয়ন জারিত হয়ে $Fe_2(SO_4)_3$-এর Fe^{3+} আয়নে পরিণত হয় এবং MnO_4^- আয়ন বিজারিত হয়ে Mn^{++} আয়নে পরিণত হয়। K^+ আয়ন এবং SO_4^{2-} আয়ন জারণ-বিজারণে অংশ গ্রহণ করে না।

(i) **জারণ অর্ধবিক্রিয়ায় ঃ** $Fe^{++} = Fe^{+++} + e$ … … (i)

বামদিকের তড়িৎ-আধান = +2, ডানদিকের তড়িৎ-আধান = $(+3) + e = +2$ $[e = -1]$

অর্থাৎ, উভয় পাশে তড়িৎ-আধান সমান।

(ii) **বিজারণ অর্ধবিক্রিয়ায় ঃ** $MnO_4^- + 8H^+ + 5e = Mn^{++} + 4H_2O$ … … (ii)

অ্যাসিড মাধ্যমে বিক্রিয়া হয় বলে অ্যাসিডের H^+ আয়ন MnO_4^- আয়নের O পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত হয়ে H_2O উৎপন্ন করে। এই অর্ধবিক্রিয়ায় বামদিকের মোট আধান = $(-1) + 8 + 5e = +2$, ডানদিকের মোট আধান = $(+2) + 0 = +2$

এখন দুটি অর্ধবিক্রিয়াতে e-এর সংখ্যা সমান করার জন্য (i) নং সমীকরণকে 5 দিয়ে গুণ করে গুণফলের সঙ্গে (ii) যোগ করে,

$$5Fe^{++} + MnO_4^- + 8H^+ \rightleftharpoons 5Fe^{+++} + Mn^{++} + 4H_2O$$

একটি $Fe_2(SO_4)_3$-এর অণুতে 2টি Fe পরমাণু আছে, তাই উভয়পক্ষে 2 দিয়ে গুণ করে—

$$10Fe^{++} + 2MnO_4^- + 16H^+ = 10Fe^{+++} + 2Mn^{++} + 8H_2O$$

অর্থাৎ, $10FeSO_4 + 2KMnO_4 + 8H_2SO_4 = 5Fe_2(SO_4)_3 + 2MnSO_4 + 8H_2O + K_2SO_4$

(3) স্ট্যানাস ক্লোরাইড, ফেরিক ক্লোরাইডকে বিজারিত করে ফেরাস ক্লোরাইড উৎপন্ন করে। এই বিক্রিয়ায় (Fe^{3+}) বিজারিত হয়ে (Fe^{++}) এবং (Sn^{++}) জারিত হয়ে (Sn^{4+}) উৎপন্ন করে।

red ($Fe^{3+} \rightarrow Fe^{2+}$)

$$Sn^{2+} + Fe^{3+} \rightarrow Sn^{4+} + Fe^{2+}$$

Ox ($Sn^{2+} \rightarrow Sn^{4+}$)

জারণ অর্ধবিক্রিয়ায় ঃ $Sn^{2+} \rightarrow Sn^{4+} + 2e$ … … (i)

বামদিকের চার্জ = (+2), ডানদিকের চার্জ = $(+4) + 2e = (+2)$

বিজারণ অর্ধবিক্রিয়ায় ঃ $Fe^{3+} + e \rightarrow Fe^{2+}$ … … (ii)

বামদিকের চার্জ = (+3) + e = +2, ডানদিকের চার্জ = + 2

এখন উভয় অর্ধবিক্রিয়ায় e-এর সমতা স্থাপন করতে হলে (ii)-কে দুই দ্বারা গুণ করে (i)-এর সঙ্গে যোগ করে—

$$Sn^{2+} + 2Fe^{3+} \rightleftharpoons Sn^{4+} + 2Fe^{2+}$$

অর্থাৎ, সমিত সমীকরণটি হল—$SnCl_2 + 2FeCl_3 = SnCl_4 + 2FeCl_2$

(4) MnO_2 গাঢ় HCl-কে জারিত করে Cl_2 উৎপন্ন করে। $MnO_2 + Cl^- \rightarrow Mn^{++} + Cl_2$

বিক্রিয়াটিতে Cl^- জারিত হয়ে Cl_2-তে পরিণত হয় এবং MnO_2 বিজারিত হয়ে Mn^{++}-এ পরিণত হয়।

(i) জারণ অর্ধবিক্রিয়ায় ঃ $Cl^- \rightarrow Cl + e$ ... ... (i)

বামদিকের চার্জ = –1, ডানদিকের চার্জ = 0 + e = – 1

(ii) বিজারণ অর্ধবিক্রিয়ায় ঃ $MnO_2 + 4H^+ + 2e = Mn^{++} + 2H_2O$ ... ... (i)

বামদিকের চার্জ = (+4) + 2e = + 2, ডানদিকের চার্জ = (+2) + 0 = (+2)

e-এর সংখ্যার সমতার জন্য **(i)**-কে 2 দ্বারা গুণ করে এবং (ii) যোগ করে—

$$MnO_2 + 2Cl^- + 4H^+ \rightleftharpoons 2Cl + Mn^{++} + 2H_2O$$

উভয়পক্ষে $2Cl^-$ যোগ করে—

$$MnO_2 + 4Cl^- + 4H^+ = Cl_2 + Mn^{++} + 2Cl^- + 2H_2O$$

অর্থাৎ, $MnO_2 + 4HCl = Cl_2 + MnCl_2 + 2H_2O$

(5) $Zn + NaOH \rightarrow Na_2ZnO_2 + H_2$

এখানে Zn জারিত হয়ে ZnO_2^{2-} আয়নে এবং NaOH থেকে H^+ আয়ন বিজারিত হয়ে মুক্ত H_2 উৎপন্ন করে।

(i) **জারণে অর্ধবিক্রিয়া** ঃ $Zn + 2OH^- = ZnO_2^{2-} + 2e + 2H^+$

(ii) **বিজারণে অর্ধবিক্রিয়া** ঃ $2H^+ + 2e = H_2$

(i) এবং (ii) যোগ করেঃ $Zn + 2OH^- \rightleftharpoons ZnO_2^{2-} + H_2$

বা, $Zn + 2NaOH = Na_2ZnO_2 + H_2$

(6) $KMnO_4 + KCl + H_2SO_4 \rightarrow MnSO_4 + K_2SO_4 + Cl_2 + H_2O$

জারণ ধাপ ঃ $2Cl^- \rightleftharpoons Cl_2 + 2e$ ... ... (i)

বিজারণ ধাপ ঃ $MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \rightleftharpoons Mn^{2+} + 4H_2O$ ... ... (ii)

(i)-কে 5 দ্বারা এবং (ii)-কে 2 দ্বারা গুণ করে যোগ করার পর,

$$2MnO_4^- + 16H^+ + 10Cl^- \rightleftharpoons 2Mn^{2+} + 5Cl_2 + 8H_2O$$

বা, $2KMnO_4 + 10KCl + 8H_2SO_4 = 2MnSO_4 + 5Cl_2 + 6K_2SO_4 + 8H_2O$

(7) $KMnO_4 + H_2SO_4 + H_2O_2 \rightleftharpoons K_2SO_4 + MnSO_4 + O_2 + H_2O$

জারণ ধাপ ঃ $H_2O_2 \rightleftharpoons 2H^+ + O_2 + 2e$ ... ... (i)

বিজারণ ধাপ ঃ $MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \rightleftharpoons Mn^{2+} + 4H_2O$ ... ... (ii)

(i)-কে 5 দ্বারা এবং (ii)-কে 2 দ্বারা গুণ করে যোগ করে, $5H_2O_2 + 2MnO_4^- + 16H^+ = 10H^+ + 5O_2 + 2Mn^{2+} + 8H_2O$

(8) $MnO_4^- + H^+ + Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+} + Mn^{2+} + H_2O$

জারণ ধাপ ঃ $Fe^{2+} \rightleftharpoons Fe^{3+} + e$ ... ... (i)

বিজারণ ধাপ ঃ $MnO_4^- + 8H^+ + 5e \rightleftharpoons Mn^{2+} + 4H_2O$ ... ... (ii)

সমীকরণ (i)-কে 5 দিয়ে গুণ করে (i) এবং (ii) যোগ করে, $3Fe^{2+} + MnO_4^- + 8H^+ \rightleftharpoons 5Fe^{3+} + Mn^{2+} + 4HCl$

(9) $P + NaOH + H_2O \rightarrow NaH_2PO_2 + PH_3$

জারণ ধাপ ঃ $P + 2OH^- \rightarrow H_2PO_2^- + e$ ... ... (i)

বিজারণ ধাপ ঃ $P + 3H_2O + 3e \rightarrow PH_3 + 3OH^-$ ... ... (ii)

(i) নং কে 3 দ্বারা গুণ করার পর (i) এবং (ii) যোগ করে—

$$3P + 6OH^- + P + 3H_2O = 3H_2PO_2^- + PH_3 + 3OH^-$$

বা, $3P + 3OH^- + P + 3H_2O = 3H_2PO_2^- + PH_3$

5.23. জারণ-বিজারণ বিক্রিয়ার পরিমাণগত তত্ত্ব [Stoichiometry of Redox Reaction]

● **জারক ও বিজারক পদার্থের তুল্যাঙ্কভার ঃ**

(1) এক অণু জারক বা বিজারক যথাক্রমে বিজারিত বা জারিত হওয়ার সময় ওই জারক বা বিজারকের জারণ-সংখ্যার যে পরিবর্তন হয়, সেই সংখ্যা দ্বারা ওই জারক বা বিজারক পদার্থের আণবিক গুরুত্বকে (বা ফর্মুলা ওজনকে) ভাগ করলে ওই জারক বা বিজারক পদার্থের তুল্যাঙ্কভার পাওয়া যায়।

অর্থাৎ, জারক বা বিজারকের তুল্যাঙ্কভার $= \dfrac{\text{আণবিক গুরুত্ব}}{\text{প্রতি মোল মূল মৌলের জারণ-সংখ্যার মোট পরিবর্তন}}$

● **উদাহরণ ঃ (i)** অ্যাসিড মাধ্যমে $KMnO_4$ বিজারক দ্বারা বিজারিত হয়ে ম্যাঙ্গানাস (Mn^{++}) লবণে পরিণত হয়।
$K\overset{+7}{Mn}O_4 \longrightarrow \overset{+2}{Mn}^{++}$ জারণ-সংখ্যার পরিবর্তন = (7 – 2) = 5. [$KMnO_4$ এর আণবিক গুরুত্ব = 158].

∴ **অ্যাসিড মাধ্যমে $KMnO_4$-এর তুল্যাঙ্কভার** $= \dfrac{\text{আণবিক গুরুত্ব}}{\text{জারণ-সংখ্যার মোট পরিবর্তন}} = \dfrac{158}{5} = \mathbf{31{\cdot}6}$

(ii) ক্ষারীয় মাধ্যমে উপযুক্ত বিজারক দ্বারা $KMnO_4$ বিজারিত হয়ে K_2MnO_4-এ পরিণত হয়।

$K\overset{+7}{Mn}O_4 \longrightarrow K_2\overset{+6}{Mn}O_4$. সুতরাং এক্ষেত্রে জারণ-সংখ্যার পরিবর্তন = (7 – 6) = 1

ক্ষারীয় মাধ্যমে $KMnO_4$-এর তুল্যাঙ্ক $= \dfrac{\text{আণবিক গুরুত্ব}}{\text{জারণ-সংখ্যার মোট পরিবর্তন}} = \dfrac{158}{1} = \mathbf{158}$

(iii) অ্যাসিড মাধ্যমে $K_2Cr_2O_7$-এর তুল্যাঙ্কভার ঃ অ্যাসিড মাধ্যমে $K_2Cr_2O_7$ উপযুক্ত বিজারক দ্বারা বিজারিত হয়ে ক্রোমিক লবণে (Cr^{3+}) পরিণত হয়। $K_2Cr_2O_7$-এর আণবিক ওজন = 294·2. $K_2\overset{+6}{Cr_2}O_7 \longrightarrow 2\overset{+3}{Cr}^{3+}$

Cr-এর জারণ-সংখ্যার পরিবর্তন = 3. কিন্তু এক অণু পটাশিয়াম ডাইক্রোমেটে 2টি Cr পরমাণু আছে। 2টি পরমাণুর জারণ-সংখ্যার মোট পরিবর্তন = 3 × 2 = 6. **$K_2Cr_2O_7$-এর তুল্যাঙ্কভার** = 294·2/6 = **49·03**

(2) ইলেকট্রনীয় মতবাদ অনুসারে জারক বা বিজারকের তুল্যাঙ্কভার ঃ এক অণু জারক বা বিজারক যথাক্রমে বিজারিত বা জারিত হওয়ার জন্য যে কটি ইলেকট্রন গ্রহণ বা বর্জন করে সেই সংখ্যা দ্বারা জারক বা বিজারক পদার্থটির আণবিক গুরুত্বকে ভাগ করলে পদার্থগুলির তুল্যাঙ্কভার পাওয়া যায়।

অর্থাৎ, জারক বা বিজারকের তুল্যাঙ্কভার $= \dfrac{\text{আণবিক গুরুত্ব}}{\text{গৃহীত বা বর্জিত ইলেকট্রন সংখ্যা}}$

● **উদাহরণ ঃ (i)** $FeSO_4$ যখন বিজারকের কাজ করে তখন জারিত হয়ে $Fe_2(SO_4)_3$-তে পরিণত হয়। $Fe^{+2} - e \rightarrow Fe^{+3}$
এখানে বিজারিত হওয়ার সময় Fe^{+2} আয়ন একটি e ত্যাগ করে। $FeSO_4$-এর আণবিক ওজন = **152**

∴ **$FeSO_4$-এর তুল্যাঙ্কভার** $= \dfrac{\text{আণবিক গুরুত্ব}}{\text{বর্জিত } e\text{-এর সংখ্যা}} = \dfrac{152}{1} = \mathbf{152.}$

(ii) $4HCl + \overset{+4}{Mn}O_2 = \overset{+2}{Mn}Cl_2 + Cl_2 + 2H_2O$ বিক্রিয়াটিতে MnO_2-এর তুল্যাঙ্কভার কত?
এই জারণ-বিজারণ ক্রিয়ায় Mn-এর জারণ-সংখ্যার পরিবর্তন = +2 – (+4) = –2

MnO_2-এর আণবিক ওজন = 55 + 2 × 16 = 87 ∴ MnO_2-এর তুল্যাঙ্কভার $= \dfrac{87}{2} = \mathbf{43{\cdot}5.}$

(iii) আম্লিক মাধ্যমে অক্সালিক অ্যাসিড CO_2-তে জারিত হয়। অক্সালিক অ্যাসিডের তুল্যাঙ্কভার কত?
$H_2C_2O_4 \rightarrow 2CO_2 + 2H^+ + 2e$. 1 অণু জারিত হতে 2টি e বর্জিত হয়। $H_2C_2O_4$-এর আণবিক ভার = 90
সুতরাং বিজারকরূপে অক্সালিক অ্যাসিডের তুল্যাঙ্কভার = আণবিক ভর/2 = 90/2 = 45

● **প্রায় প্রশম দ্রবণে, I_2 সোডিয়াম থায়োসালফেটের সঙ্গে বিক্রিয়া করে। বিক্রিয়াটির সমিত সমীকরণ দাও। এই সমীকরণ থেকে $Na_2S_2O_3$-এর তুল্যাঙ্কভার নির্ণয় করো। ধরো এর আণবিক ওজন *m*.**

Ans. বিক্রিয়াটির সমিত সমীকরণ $I_2 + 2Na_2S_2O_3 = Na_2S_4O_6 + 2NaI$

এই বিক্রিয়ায় I_2 বিজারিত হয়ে I^- আয়নে পরিণত হয়। $\overset{0}{I_2} + 2e = 2I^-$

সুতরাং এই বিক্রিয়ায় $Na_2S_2O_3$ হল বিজারক এবং 2 অণু $Na_2S_2O_3$ 2টি ইলেকট্রন ত্যাগ করে। সুতরাং 1টি $Na_2S_2O_3$ অণু 1টি ইলেকট্রন ত্যাগ করে। দেওয়া আছে $Na_2S_2O_3$ এর আণবিক ওজন = m.

$Na_2S_2O_3$-এর তুল্যাঙ্কভার = আণবিক ভর/প্রতি অণু দ্বার বর্জিত e-সংখ্যা = $m/1$ = **m.**

● **4·0 N HCl-এর উপস্থিতিতে জারক হিসাবে $KH(IO_3)_2$-এর তুল্যাঙ্কভার কত, যে বিক্রিয়ায় বিজারিত পদার্থ হিসাবে ICl পাওয়া যায়? K = 39, I = 127**

Ans. দেওয়া আছে $KH(\overset{+5}{I}O_3)_2 \rightarrow \overset{+1}{I}Cl$. $KH(IO_3)_2$-এর আণবিক ওজন = 39 + 1 + 2 × 127 + 6 × 16 = 390

I পরমাণুর জারণ সংখ্যার পরিবর্তন = 1 – (+5) = –4. কিন্তু এক অণু $KH(IO_3)_2$-এর মধ্যে 2টি I পরমাণু আছে। দুটি I পরমাণুর জন্য জারণ সংখ্যার মোট পরিবর্তন = 4 × 2 = 8.

সুতরাং অ্যাসিড মাধ্যমে $KH(IO_3)_2$-এর তুল্যাঙ্কভার = আণবিক ভর/জারণ সংখ্যার পরিবর্তন = 390/8 = **48·75**

● **কয়েকটি জারক এবং বিজারকের তুল্যাঙ্কভার ঃ**

জারক পদার্থ	আণবিক ওজন	আংশিক সমীকরণ (বিজারণ)	তুল্যাঙ্কভার
হাইড্রোজেন পারক্সাইড H_2O_2	34	আম্লিক মাধ্যমে—$H_2O_2 + 2H^+ + 2e \rightarrow 2H_2O$	34/2 = 17
গাঢ় HNO_3	63	$NO_3^- + 2H^+ + e \rightarrow NO_2 + H_2O$	63/1 = 63
মধ্যম গাঢ় HNO_3	63	$NO_3^- + 4H^+ + 3e \rightarrow NO + 2H_2O$	63/3 = 21
বিজারক পদার্থ	**আণবিক ওজন**	**আংশিক সমীকরণ (জারণ)**	**তুল্যাঙ্কভার**
সোডিয়াম থায়োসালফেট $Na_2S_2O_3$	158	$2S_2O_3^{2-} - 2e \rightarrow S_4O_6^{2-}$	158/2 = 79
হাইড্রোজেন সালফাইড H_2S	34	অ্যাসিড মাধ্যমে—$H_2S - 2e \rightarrow S + 2H^+$	34/2 = 17

● **জারণ-বিজারণ বিক্রিয়ার নর্মালিটি সমীকরণ—** তুল্যাঙ্ক অনুপাত সূত্র থেকে জানা যায় যে বিভিন্ন পদার্থ তাদের তুল্যাঙ্কের অনুপাতে বিক্রিয়া করে। যেমন, অ্যাসিডযুক্ত $KMnO_4$ দ্রবণের সঙ্গে $FeSO_4$ দ্রবণের বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে ধরি, N_1 নর্মালিটির $KMnO_4$ দ্রবণের V_1 ml এর সঙ্গে, N_2 নর্ম্যালিটির $FeSO_4$ দ্রবণের V_2 ml-এর সম্পূর্ণ বিক্রিয়া ঘটে।

V_1 ml-এর N_1 $KMnO_4$ দ্রবণে, $KMnO_4$-এর পরিমাণ $= \frac{N_1}{1000} \times V_1$ গ্রাম তুল্যাঙ্ক

V_2 ml-এর N_2 $FeSO_4$ দ্রবণে, $FeSO_4$-এর পরিমাণ $= \frac{N_2}{1000} \times V_2$ গ্রাম তুল্যাঙ্ক

যেহেতু বিভিন্ন পদার্থ তাদের গ্রাম-তুল্যাঙ্কের অনুপাতে বিক্রিয়া করে— সুতরাং $\frac{N_1V_1}{1000} = \frac{N_2V_2}{1000}$

বা, $\boxed{N_1V_1 = N_2V_2}$ এই সমীকরণকে **নর্মালিটি সমীকরণ** বলে।

এই সমীকরণের সাহায্যে যদি V_1, N_2 এবং V_2 জানা থাকে, তাহলে অজানা মাত্রা দ্রবণের নর্ম্যালিটি N_1 সহজেই নির্ণয় করা যায়।

● **জারণ-বিজারণ বিক্রিয়ার মোলারিটি সমীকরণ—** ধরি, বিক্রিয়ক A এবং B এর সঙ্গে বিক্রিয়া ঘটে বিক্রিয়াজাত পদার্থ C এবং D উৎপন্ন হয়। বিক্রিয়াটির সমিত সমীকরণটি ধরি, $aA + bB = cC + dD$.

বিক্রিয়ার সমীকরণে বিক্রিয়ক এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থের সহগগুলি a, b, c, d ওদের মোল সংখ্যা প্রকাশ করে। যেমন, উপরের বিক্রিয়ায় জানা যায় যে, **a মোল A এর সঙ্গে b মোল B এর বিক্রিয়ায় সম্পূর্ণ হলে, c মোল C এবং d মোল D উৎপন্ন হয়।** এই সহগগুলির সাহায্যেই মোলারিটির সমীকরণ প্রতিষ্ঠা করা যায়।

যেমন, আম্লিক $KMnO_4$ এবং $FeSO_4$ দ্রবণের মধ্যে আয়তনমাত্রিক টাইট্রেশনের ক্ষেত্রে—

$2KMnO_4 + 10FeSO_4 + 8H_2SO_4 = K_2SO_4 + 2MnSO_4 + 5Fe_2(SO_4)_3 + 8H_2O$ .... (i)

ধরি, M_1 মোলারিটির $KMnO_4$ দ্রবণের V_1 ml এর সঙ্গে M_2 মোলারিটির $FeSO_4$ দ্রবণের V_2 ml সম্পূর্ণভাবে বিক্রিয়া করে।

তাহলে, V_1 ml আয়তনের M_1 $KMnO_4$ দ্রবণে $KMnO_4$ এর পরিমাণ $= \frac{M_1V_1}{1000}$ মোল

V_2 ml আয়তনের M_2 $FeSO_4$ দ্রবণে, $FeSO_4$-এর পরিমাণ $= \frac{M_2V_2}{1000}$ মোল।

জারণ-বিজারণের সমিত সমীকরণ অনুযায়ী [সমীকরণ (i)] যে মোলার অনুপাতে $KMnO_4$ এবং $FeSO_4$ এর মধ্যে সম্পূর্ণ বিক্রিয়া করবে তা হল 2 : 10. সুতরাং $\frac{M_1V_1/1000}{M_2V_2/1000} = \frac{2}{10}$ বা, $\frac{M_1V_1}{M_2V_2} = \frac{2}{10}$ বা, $\frac{M_1V_1}{2} = \frac{M_2V_2}{10}$

$KMnO_4$ এবং $FeSO_4$ এর মধ্যে বিক্রিয়ায় সমিত সমীকরণের সহগগুলি যথাক্রমে n_1 এবং n_2 হলে—

মোলারিটি সমীকরণটি হল $\boxed{\frac{M_1V_1}{n_1} = \frac{M_2V_2}{n_2}}$

5.24. রেডক্স টাইট্রেশন [Redox Titration]

অ্যাসিড-ক্ষার টাইট্রেশনের মতো রেডক্স টাইট্রেশনে জানা মাত্রার জারক বা বিজারক দ্রব্যের সঙ্গে, নির্দিষ্ট আয়তনের বিজারক বা জারক দ্রবণের সম্পূর্ণ বিক্রিয়াটি ঘটাতে কত আয়তনের জানা মাত্রার জারক বা বিজারক দ্রব্যের দ্রবণের প্রয়োজন হয়, বর্ণের পরিবর্তন লক্ষ করে তা জানা যায়।

যেমন $2KMnO_4 + 10\,FeSO_4 + 8H_2SO_4 \rightarrow K_2SO_4 + 2MnSO_4 + 5Fe_2(SO_4)_3 + 8H_2O$

ধরি, $KMnO_4$ দ্রবণের সঙ্গে $FeSO_4$ দ্রবণের টাইট্রেশনে দেখা গেল, অজানা মাত্রার $FeSO_4$ দ্রবণের 25 ml-কে সম্পূর্ণ জারিত করতে 0·1 M $KMnO_4$ দ্রবণের 20 ml এর প্রয়োজন হয়। $FeSO_4$ দ্রবণের মাত্রা নির্ণয় করতে হবে।

গণনা : এখানে $KMnO_4$ দ্রবণের মাত্রা $M_1 = 0{\cdot}1$ M এবং আয়তন = 20 ml, $FeSO_4$ দ্রবণের আয়তন = 25 ml এবং মাত্রা = M_2 ধরি,

মোলারিটি সমীকরণে $\frac{M_1V_1}{n_1} = \frac{M_2V_2}{n_2}$ মানগুলি বসিয়ে, $\frac{0{\cdot}1 \times 20}{1} = \frac{M_2 \times 25}{5}$ বা, $M_2 = \frac{0{\cdot}1 \times 20 \times 5}{25} = 0{\cdot}4$

বা, $M_2 = 0{\cdot}4$

অর্থাৎ অজ্ঞাত $FeSO_4$ দ্রবণটির মাত্রা = 0·4 M এবং দ্রবণটিতে $FeSO_4$ এর পরিমাণ মাত্রা = 0·4 × 152 = 60·8 গ্রাম/লিটার।

জারক ও বিজারক পদার্থের আয়তনমাত্রিক টাইট্রেশন করার জন্য জারক পদার্থ রূপে $KMnO_4$, $K_2Cr_2O_7$, $FeCl_3$ প্রভৃতি ব্যবহার করা হয়। বর্ণের পরিবর্তন দেখে বিক্রিয়াটি সম্পূর্ণ হয়েছে কিনা জানা যায়।

এই জাতীয় টাইট্রেশনে **বিজারক পদার্থ রূপে নীচের পদার্থগুলি ব্যবহৃত হয়—**

Fe, $FeSO_4$, মোর লবণ $[(NH_4)_2SO_4, FeSO_4, 6H_2O]$, H_2O_2, $(COOH)_2$, $(COONa)_2$, ইত্যাদি।

এই পদার্থগুলির জানা মাত্রার দ্রবণকে সরাসরি জারক পদার্থ, যেমন $KMnO_4$, $K_2Cr_2O_7$ (সাধারণত অ্যাসিড মাধ্যমে) প্রভৃতি দ্রবণের সঙ্গে বিক্রিয়া ঘটান হয়। নীচে কয়েকটি উদাহরণের সাহায্যে জারক বিক্রিয়ায় পদার্থের পরিমাণগত মান কীভাবে নির্ণয় করা যায় দেখানো হল।

● **উদাহরণ :**

(1) 2·7 g অক্সালিক অ্যাসিডকে, অ্যাসিড মাধ্যমে সম্পূর্ণ জারিত করতে কত আয়তনের 0·05 M $KMnO_4$ এর প্রয়োজন হবে?

Ans. বিক্রিয়ার সমিত সমীকরণ— $2KMnO_4 + 5C_2H_2O_4 + 3H_2SO_4 \rightarrow K_2SO_4 + 2MnSO_4 + 10CO_2 + 8H_2O$

এখানে $C_2H_2O_4$ এর আণবিক গুরুত্ব = 90

1000 cm^3 দ্রবণে 90 g $C_2H_2O_4$ থাকলে মাত্রা 1 M হয়,

" " 2·7 g " " $\frac{2{\cdot}7}{90} = 0{\cdot}03$ M হয়,

$KMnO_4$ এর $M_1 = 0{\cdot}05$ M, $V_1 = ?$ $n_1 = 2$. $C_2H_2O_4$ এর $M_2 = 0{\cdot}03$ M, $V_2 = 1000$, $n_2 = 5$

$$\frac{M_1V_1}{n_1} = \frac{M_2V_2}{n_2} \text{ বা, } \frac{0{\cdot}05 \times V_1}{2} = \frac{0{\cdot}03 \times 1000}{5} \text{ বা, } V_1 = \frac{0{\cdot}03 \times 1000 \times 2}{5 \times 0{\cdot}05} = \mathbf{240\ cm^3}$$

(2) 1·44 g বিশুদ্ধ FeC_2O_4-কে লঘু H_2SO_4-এ দ্রবীভূত করে দ্রবণটির আয়তন 100 cm^3 করা হল। FeC_2O_4 এর এই দ্রবণকে জারিত করতে 0·01 M $KMnO_4$ দ্রবণের কত আয়তনের প্রয়োজন হবে?

Ans. বিক্রিয়াটির সমিত সমীকরণ হল—

$$5Fe^{2+} + MnO_4^- + 8H^+ \rightarrow 5Fe^{3+} + Mn^{2+} + 4H_2O$$
$$3C_2O_4^- + 2MnO_4^- + 16H^+ \rightarrow 10CO_2 + 2Mn^{2+}\ 8H_2O$$
$$\overline{5FeC_2O_4 + 3MnO_4^- + 24H^+ \rightarrow 5Fe^{3+} + 10CO_2 + 3Mn^{2+} + 12H_2O}$$

100 cm^3 FeC_2O_4 দ্রবণে 1·44 g FeC_2O_4 আছে।

$\therefore$ 1000 cm^3 " " $\frac{1.44 \times 1000}{100} = 14.4$ g FeC_2O_4 আছে।

FeC_2O_4-এর মোলারিটি = $\frac{1.44}{FeC_2O_4 \text{ এর গ্রাম মোল}} = \frac{14.4}{144}$ = **0·1** মোল। (FeC_2O_4-এর আণবিক গুরুত্ব = 144)

সমিত সমীকরণ থেকে পাই, $KMnO_4$ দ্রবণের $n_1 = 3$, মোলারিটি $M_1 = 0.01$ M. আয়তন $V_1 = ?$

FeC_2O_4 দ্রবণের $n_2 = 5$, মোলারিটি $M_2 = 0.1$ M. আয়তন $V_2 = 100$ cm^3. এখন $\frac{M_1V_1}{n_1} = \frac{M_2V_2}{n_2}$ সমীকরণে

মানগুলি বসিয়ে— $\frac{0.01\,M \times V_1}{3} = \frac{0.1\,M \times 100}{5}$ বা, $V_1 = \frac{0.1 \times 100 \times 3}{5 \times 0.01}$ বা, V_1 = **600 cm^3**

(3) একটি অজানা মাত্রার দ্রবণে সালফাইট আয়ন (SO_3^{2-}) উপস্থিত আছে। যদি এই দ্রবণের 25 cm^3 আয়তনকে সম্পূর্ণ জারিত করতে 0·02 M $KMnO_4$ দ্রবণের 35 cm^3 এর প্রয়োজন হয়, তাহলে ওই SO_3^{2-} দ্রবণের মোলারিটি কত হবে?

Ans. বিক্রিয়াটির সমিত সমীকরণ— $2MnO_4^- + 5SO_3^{2-} + 6H^+ \rightarrow 2Mn^{2+} + 5SO_4^{2-} + 3H_2O$

ধরি, SO_3^{2-} আয়নের দ্রবণের মোলারিটি = M_1. এখন মোলারিটি সমীকরণ প্রয়োগ করে $\frac{M_1V_1}{n_1} = \frac{M_2V_2}{n_2}$.

আমরা পাই $\frac{M_1 \times 25}{5} = \frac{0.02 \times 35}{2}$ বা, $M_1 = \frac{0.02 \times 35 \times 5}{2 \times 25} = 0.07$

সুতরাং ওই জলীয় দ্রবণে SO_3^{2-} আয়নের মোলারিটি = **0·07 M.**

5.25. স্ট্যান্ডার্ড ইলেকট্রোড বিভব বা প্রমাণ তড়িৎদ্বার বিভব [Standard Electrode Potential (E^0)]

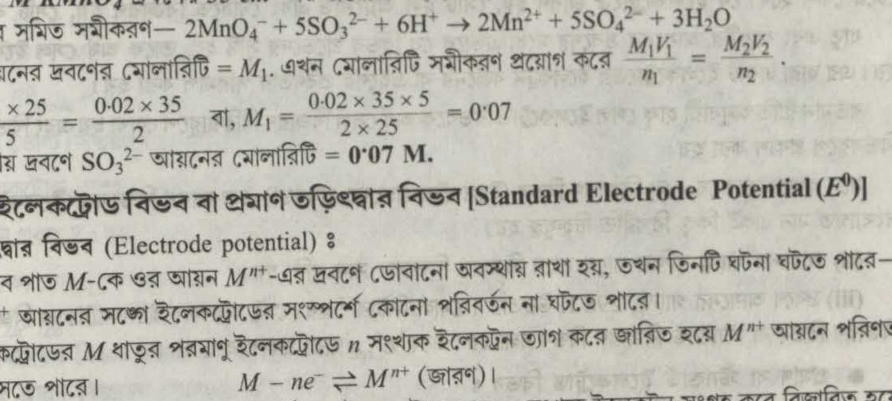
● **প্রমাণ তড়িৎদ্বার বিভব** (Electrode potential) ঃ

যখন একটি ধাতব পাত M-কে ওর আয়ন M^{n+}-এর দ্রবণে ডোবানো অবস্থায় রাখা হয়, তখন তিনটি ঘটনা ঘটতে পারে—

(i) দ্রবণের M^{n+} আয়নের সঙ্গে ইলেকট্রোডের সংস্পর্শে কোনো পরিবর্তন না ঘটতে পারে।

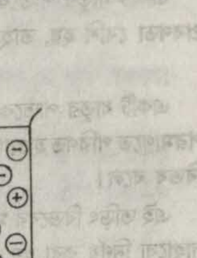
(ii) ধাতব ইলেকট্রোডের M ধাতুর পরমাণু ইলেকট্রোডে n সংখ্যক ইলেকট্রন ত্যাগ করে জারিত হয়ে M^{n+} আয়নে পরিণত হয়ে দ্রবণে চলে আসতে পারে। $M - ne^- \rightleftharpoons M^{n+}$ (জারণ)।

(iii) দ্রবণের M^{n+} আয়ন ইলেকট্রোডের সংস্পর্শে এসে ইলেকট্রোড থেকে n সংখ্যক ইলেকট্রন সংগ্রহ করে বিজারিত হয়ে M ধাতুর পরমাণুতে পরিণত হতে পারে। $M^{n+} + ne \rightleftharpoons M$ ধাতু (বিজারণ)।



চিত্র 5.3 ঃ

এখন কোনো ধাতুর পরমাণুর জারিত হয়ে আয়নে পরিণত হওয়ার প্রবণতা বেশি হলে M ধাতুর M^{n+} আয়নের দ্রবণে M ধাতুকে ডুবিয়ে রাখলে কিছু সংখ্যক ধাতুর পরমাণুর প্রত্যেকে ধাতব দণ্ডে n সংখ্যক ইলেকট্রন ত্যাগ করে M^{n+} আয়নরূপে দ্রবণে চলে আসে। এর ফলে দ্রবণটিতে M^{n+} আয়নের সামান্য আধিক্য ঘটে এবং M ধাতুর ইলেকট্রোডে ইলেকট্রন সংখ্যার সামান্য আধিক্য ঘটে। এর ফলে ধাতব ইলেকট্রোডটি দ্রবণের তুলনায় সামান্য নেগেটিভ বিভব পায়। এই ঘটনাটির সাম্য নীচের সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা হয়—



চিত্র 5.4 ঃ ইলেকট্রোড সাম্য

$$\underset{\text{ধাতব পাত}}{M(s)} \underset{\text{বিজারণ}}{\overset{\text{জারণ}}{\rightleftharpoons}} \underset{\text{দ্রবণ}}{M^{n+}(aq)} + ne^-$$

অপরদিকে, কোনো ধাতব আয়নের বিজারিত হয়ে ধাতব পরমাণুতে পরিণত হওয়ার প্রবণতা বেশি হলে, দ্রবণের M^{n+} আয়নগুলি ধাতব পাতে এসে ধাতুর পরমাণু থেকে প্রত্যেকে n সংখ্যক ইলেকট্রন গ্রহণ করে ধাতুর পরমাণুতে পরিণত হয়। এর ফলে ধাতব পাতটিতে ইলেকট্রনের সামান্য ঘাটতি হয়। এর ফলে ধাতব পাতে দ্রবণের তুলনায় সামান্য পজিটিভ বিভব পায়। শেষ পর্যন্ত ধাতব আয়ন এবং পাতটির মধ্যে এক সাম্য প্রতিষ্ঠিত হয়।

$$\underset{\text{দ্রবণ}}{M^{n+}} + ne^- \rightleftharpoons \underset{\text{ধাতু}}{M}$$

+ve এবং −ve চার্জের উৎপত্তির ঘটনাটি 5.4 চিত্রে দেখানো হল।

এখন একটি বিকারে $ZnSO_4$-এর দ্রবণে একটি Zn দণ্ড এবং অপর একটি বিকারে $CuSO_4$ দ্রবণে Cu দণ্ড ডুবিয়ে রাখলে, যেহেতু Cu-এর চেয়ে Zn-এর ইলেকট্রন ত্যাগের প্রবণতা অর্থাৎ জারিত হওয়ার প্রবণতা বেশি, তাই Zn দণ্ডটির নেগেটিভ বিভব Cu দণ্ডের চেয়ে বেশি হবে। এর মানে Cu^{2+} আয়নের বিজারিত হওয়ার প্রবণতা, Zn^{2+} আয়নের বিজারিত হওয়ার প্রবণতার চেয়ে বেশি হবে। **যে ইলেকট্রোডে জারণ হয়, সেটি হল অ্যানোড এবং যেটিতে বিজারণ হয়, সেটি ক্যাথোড।**

ধাতু এবং ধাতুটির আয়নের দ্রবণের মধ্যে এভাবে যে বিভব প্রভেদের সৃষ্টি হয়, তাকে **অর্ধ সেল ইলেকট্রোড বিভব** বলা হয়। এর দ্বারা একটি ইলেকট্রোডের ইলেকট্রন বর্জনের বা গ্রহণের প্রবণতার পরিমাপ করা হয়।

বর্তমান রীতি অনুযায়ী হাফ্ সেল ইলেকট্রোড বিভবকে অর্ধ সেল বিজারণ বিক্রিয়ারূপে লেখা হয় এবং বিভব প্রভেদকে বিজারণ বিভবরূপে প্রকাশ করা হয়।

মনে রাখতে হবে যে—**(i) বিজারণ বিভব (ইলেকট্রন গ্রহণের প্রবণতা) এবং জারণ বিভবের (ইলেকট্রন ত্যাগের প্রবণতা)** সংখ্যাগত মান একই কিন্তু বিপরীত চিহ্নযুক্ত হয়।

(ii) আয়নের গাঢ়ত্ব বৃদ্ধির সাথে সাথে বিজারণ বিভবের মান বৃদ্ধি হয়।

(iii) দ্রবণে আয়নের গাঢ়ত্ব, 298 K উষ্ণতায় 1 মোল লিটার$^{-1}$ হয়। সেই অবস্থায় ইলেকট্রোডের বিজারণ বিভবকে প্রমাণ বিজারণ বিভব বা স্ট্যান্ডার্ড বিজারণ বিভব বলা হয়। একে E^0_{red} দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

● **প্রমাণ বা স্ট্যান্ডার্ড ইলেকট্রোড বিভব ঃ**

একটি ধাতুর পাতকে ওই ধাতুর লবণের জলীয় দ্রবণে ডোবালে, **যদি ধাতুটির পরমাণুর e-ত্যাগ করে ক্যাটায়ন গঠনের প্রবণতা বেশি হয়, তাহলে ওই ধাতুর পাত এবং দ্রবণের মধ্যে যে বিভব-পার্থক্যের সৃষ্টি হবে তাকে জারণ বিভব বলে।**

$$M - ne \rightleftharpoons M^{n+}$$

একটি ধাতুর পাতকে ওই ধাতুর লবণের জলীয় দ্রবণে ডোবালে, **যদি দ্রবণের মধ্যস্থ ধাতব আয়নের e-গ্রহণ করে ধাতব পরমাণুতে পরিণত হওয়ার প্রবণতা বেশি হয়, তাহলে ধাতুর পাত এবং দ্রবণের মধ্যে যে তড়িৎবিভবের সৃষ্টি হয়, তাকে বিজারণ বিভব বলে।**

$$M^{n+} + ne \rightleftharpoons M$$

এই তড়িৎ বিভবের মান পরোক্ষভাবে অন্য একটি সহায়ক তড়িৎদ্বারের (reference electrode) সঙ্গে সংযুক্ত করে পরীক্ষার সাহায্যে নির্ণয় করা হয়।

298 K উষ্ণতায়, ধাতব আয়নের মোলার গাঢ়ত্বের 1(M) দ্রবণ রেখে ওর মধ্যে ওই ধাতুর একটি পাত ডুবিয়ে রাখলে, ধাতুর পাত ও ধাতব আয়নের মধ্যে সৃষ্ট বিভবকে ওই ইলেকট্রোডের প্রমাণ বা স্ট্যান্ডার্ড তড়িৎ বিভব (Standard electrode potential) **বলে।**

সহায়ক তড়িৎদ্বার বা ইলেকট্রোড রূপে সাধারণত **প্রমাণ বা স্ট্যান্ডার্ড হাইড্রোজেন ইলেকট্রোড** (SHE) ব্যবহার করা হয়। **হাইড্রোজেন ইলেকট্রোড হল** 1(M) HCl **দ্রবণে ডোবানো একটি** Pt **ইলেকট্রোড যেখানে** 1 atm **চাপে হাইড্রোজেন গ্যাসকে দ্রবণটির মধ্যে চালনা করা হতে থাকে।** হাইড্রোজেন প্রমাণ ইলেকট্রোড বিভবের মান শূন্য ধরা হয় এবং ওর সঙ্গে তুলনা করে অন্য মৌলের ইলেকট্রোড বিভব নির্ণয় করা হয়।

ধাতুর ইলেকট্রোড এবং ধাতুটির লবণের দ্রবণ মিলে যে অর্ধ সেল (half cell) গঠিত হয়, সেই অর্ধ সেলটিকে স্ট্যান্ডার্ড হাইড্রোজেন ইলেকট্রোডের সঙ্গে যুক্ত করলে তড়িৎ সেলটি সম্পূর্ণ হয়। এই সম্পূর্ণ সেলের সঙ্গে একটি তড়িৎ বিভব নির্ণয় করার যন্ত্র (পোটেনসিওমিটার) যোগ করলে যে বিভব পাওয়া যায়, তার থেকে H_2-এর স্ট্যান্ডার্ড ইলেকট্রোড বিভবের মান (0) বিয়োগ

করলে ধাতুটির ইলেকট্রোড বিভবের মান অর্থাৎ ধাতু এবং ওই ধাতুর লবণের মধ্যস্থ ধাতব আয়নের মধ্যে সৃষ্ট তড়িৎ বিভবের মান পাওয়া যায়। পরীক্ষাগারে বিভিন্ন ধাতুর স্ট্যান্ডার্ড বিজারণ বিভব নির্ণয় করার জন্য নীচের মত ব্যবস্থা করা হয়।

পদ্ধতি ঃ শুষ্ক এবং বিশুদ্ধ H_2 গ্যাস 1 atm চাপে একটি বিকারে রাখা 1M HCl দ্রবণের মধ্যে চালনা করা হয়। এর ফলে প্ল্যাটিনাম তারটি H_2-কে শোষণ করে হাইড্রোজেন ইলেকট্রোডের মতো ব্যবহার করে। ডানদিকের বিকারে 1M $CuSO_4$ দ্রবণের মধ্যে একটি কপারের পাত ডোবানো থাকে। দুটি বিকারের দ্রবণের মধ্যে তড়িৎ সংযোগ স্থাপন করা হয় একটি সল্ট ব্রিজের মাধ্যমে। দুটি ইলেকট্রোডকে পোটেনসিওমিটার যন্ত্রের সঙ্গে যোগ করা হয়। পোটেনসিওমিটার যন্ত্র E^0_{Cell}-এর মান নির্দেশ করে 0·34V এবং যেহেতু H-ইলেকট্রোড থেকে Cu ইলেকট্রোডে ইলেকট্রন প্রবাহ হয়, তাই এই সেলের আনোড হল H-ইলেকট্রোড এবং ক্যাথোড হল Cu-ইলেকট্রোড।

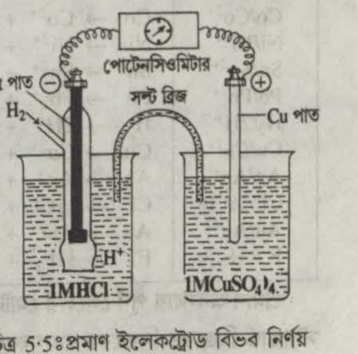
এখন $E^0_{Cell} = E^0_{cathode} - E^0_{anode}$ যেহেতু $E^0_{2H^+/H_2}$ ইলেকট্রোডের স্ট্যান্ডার্ড বিজারণ বিভব = 0 ভোল্ট। সুতরাং পোটেনসিওমিটার যন্ত্রে যে *e.m.f.*-এর মান পাওয়া যায়, তাই হবে Cu^{2+}/Cu ইলেকট্রোডের বিজারণ বিভব। কারণ এক্ষেত্রে

$E^0_{Cell} = E^0_{cathode} - E^0_{anode} = E^0_{Cu^{2+}/Cu} - E^0_{2H^+/H}$. বা, $0{\cdot}34 = E^0_{Cu^{2+}/Cu} + 0$

বা, $E^0_{Cu^{2+}/Cu} = 0{\cdot}34$ ভোল্ট। সুতরাং Cu-এর প্রমাণ বিজারণ বিভব = 0·34V

অনুরূপে জিঙ্ক ইলেকট্রোড ব্যবহার করলে পোটেনসিওমিটার পাঠ পাওয়া যায় $E^0_{Cell} = 0{\cdot}76$, ইলেকট্রন প্রবাহ Zn দণ্ড থেকে SHE-তে হয়, এর দ্বারা বোঝা যায় Zn অ্যানোডরূপে এবং SHE ক্যাথোডরূপে কাজ করে। এখন $E^0_{Cell} = E^0_{cathode} - E^0_{anode}$

বা, $0{\cdot}76 = 0 - E^0_{Zn^{2+}/Zn}$ বা, $E^0_{Zn^{2+}/Zn} = -0{\cdot}76$ V



চিত্র 5·5ঃ প্রমাণ ইলেকট্রোড বিভব নির্ণয়

● **মৌলের প্রমাণ বিজারণ বিভব থেকে কী কী জানা যায়?**

(i) কোনো মৌলের প্রমাণ বিজারণ বিভবের মান বেশি হলে বুঝতে হবে মৌলটির পরমাণুর ইলেকট্রন গ্রহণ করার প্রবণতা অর্থাৎ বিজারিত হওয়ার প্রবণতা বেশি। যেমন, *F*-এর প্রমাণ বিজারণ বিভবের মান সর্বোচ্চ, তাই *F* পরমাণু খুব সহজে F^- আয়নে বিজারিত হয়।

(ii) প্রমাণ বা স্ট্যান্ডার্ড বিজারণ বিভবের মান কম হলে বুঝতে হবে যে ধাতুটির পরমাণুর ইলেকট্রন ত্যাগের প্রবণতা অর্থাৎ জারিত হওয়ার প্রবণতা খুব বেশি।

কোনো মৌলের স্ট্যান্ডার্ড বিজারণ বিভবের মান পজিটিভ হলে বুঝতে হবে যে, হাইড্রোজেনের চেয়ে মৌলটির বিজারিত হওয়ার অর্থাৎ ইলেকট্রন গ্রহণ করার প্রবণতা বেশি। যেমন, ফ্লুওরিনের স্ট্যান্ডার্ড বিজারণ বিভবের মান সবচেয়ে বেশি পজিটিভ (+2·87V) তাই ফ্লুওরিন সহজেই বিজারিত হয়।

$$F_2(g) + 2e^- \rightarrow 2F^-(aq) \qquad [E^0_{½F_2/F^-} = +2{\cdot}87V]$$

আবার কোনো মৌলের স্ট্যান্ডার্ড বিজারণ বিভবের মান নেগেটিভ হলে বুঝতে হবে যে, হাইড্রোজেনের চেয়ে মৌলটির জারিত হওয়ার প্রবণতা বেশি। যেমন, Ca-এর স্ট্যান্ডার্ড বিজারণ বিভবের মান নেগেটিভ (–2·87V), তাই Ca ধাতু সহজেই ইলেকট্রন ত্যাগ করে জারিত হয়।

$$Ca(s) \rightarrow Ca^{++}(aq) + 2e^-$$

(iv) কোনো ধাতু এবং ধাতব আয়নের মধ্যে সৃষ্ট স্ট্যান্ডার্ড জারণ বিভব এবং স্ট্যান্ডার্ড বিজারণ বিভবের মান একই কিন্তু চিহ্ন বিপরীত হয়। যেমন, $E^0_{ox} = -E^0_{red}$ যেখানে E^0_{ox} = স্ট্যান্ডার্ড জারণ বিভব এবং E^0_{red} = স্ট্যান্ডার্ড বিজারণ বিভব।

5.26. ধাতব মৌলের তড়িৎবিভব শ্রেণি [Electropotential series of metals]

বিভিন্ন ধাতু এবং ওদের আয়নের দ্রবণের মধ্যে সৃষ্ট স্ট্যান্ডার্ড বিজারণ বিভবের ক্রমবর্ধমান মান অনুসারে অথবা স্ট্যান্ডার্ড জারণ বিভবের ক্রমহ্রাসমান মান অনুসারে ধাতুগুলিকে পরপর একটি শ্রেণিতে সাজালে যে শ্রেণি পাওয়া যায়, তাকে ধাতুর তড়িৎবিভব শ্রেণি বলে। হাইড্রোজেন অধাতু হলেও এই শ্রেণির মধ্যে থাকে।

নীচের সারণিতে কতকগুলি ধাতুর স্ট্যান্ডার্ড জারণ বিভব এবং স্ট্যান্ডার্ড বিজারণ বিভবের মান দেওয়া হল—

ইলেকট্রোড	ইলেকট্রোড বিক্রিয়া (জারণ)	প্রমাণ বা স্ট্যান্ডার্ড জারণ-বিভব (V)	ইলেকট্রোড	ইলেকট্রোড বিক্রিয়া (বিজারণ)	স্ট্যান্ডার্ড বিজারণ-বিভব (V)
Li/Li^+	$Li \rightarrow Li^+ + e$	+3·04	Li^+/Li	$Li^+ + e \rightarrow Li$	−3·04
K/K^+	$K \rightarrow K^+ + e$	+2·92	K^+/K	$K^+ + e \rightarrow K$	−2·92
Ca/Ca^{2+}	$Ca \rightarrow Ca^{2+} + 2e$	+2·87	Ca^{2+}/Ca	$Ca^{2+} + 2e \rightarrow Ca$	−2·87
Na/Na^+	$Na \rightarrow Na^+ + e$	+2·71	Na^+/Na	$Na^+ + e \rightarrow Na$	−2·71
Mg/Mg^{2+}	$Mg \rightarrow Mg^{2+} + 2e$	+2·37	Mg^{2+}/Mg	$Mg^{2+} + 2e \rightarrow Mg$	−2·37
Al/Al^{3+}	$Al \rightarrow Al^{3+} + 3e$	+1·66	Al^{3+}/Al	$Al + 3e \rightarrow Al$	−1·66
Mn/Mn^{2+}	$Mn \rightarrow Mn^{2+} + 2e$	+1·18	Mn^{2+}/Mn	$Mn^{2+} + e \rightarrow Mn$	−1·18
Zn/Zn^{2+}	$Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e$	+0·76	Zn^{2+}/Zn	$Zn^{2+} + 2e \rightarrow Zn$	−0·76
Fe/Fe^{2+}	$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e$	+0·44	Fe^{2+}/Fe	$Fe^{2+} + 2e \rightarrow Fe$	−0·44
Co/Co^{2+}	$Co \rightarrow Co^{2+} + 2e$	+0·29	Co^{2+}/Co	$Co^{2+} + 2e \rightarrow Co$	−0·29
Ni/Ni^{2+}	$Ni \rightarrow Ni^{2+} + 2e$	+0·22	Ni^{2+}/Ni	$Ni^{2+} + 2e \rightarrow Ni$	−0·22
Sn/Sn^{2+}	$Sn \rightarrow Sn^{2+} + 2e$	+0·13	Sn^{2+}/Sn	$Sn^{2+} + 2e \rightarrow Sn$	−0·13
Pb/Pb^{2+}	$Pb \rightarrow Pb^{2+} + 2e$	+0·12	Pb^{2+}/Pb	$Pb^{2+} + 2e \rightarrow Pb$	−0·12
$H_2/2H^+$	$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e$	0·00	$2H^+/H_2$	$2H^+ + 2e \rightarrow H_2$	0·00
Cu/Cu^{2+}	$Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e$	−0·34	Cu^{2+}/Cu	$Cu^{2+} + 2e \rightarrow Cu$	+0·34
Ag/Ag^+	$Ag \rightarrow Ag^+ + e$	−0·8	Ag^+/Ag	$Ag^{2+} + e \rightarrow Ag$	+0·8
$Cl^-/½Cl_2$	$Cl^- \rightarrow ½Cl_2 + e$	−1·36	$½Cl_2/Cl^-$	$½Cl_2 + e \rightarrow Cl^-$	+1·36
Au/Au^{3+}	$Au \rightarrow Au^{3+} + 3e$	−1·50	Au^{3+}/Au	$Au^{3+} + 3e \rightarrow Au$	+1·50
$F^-/½F_2$	$F^- \rightarrow ½F_2 + e$	−2·87	$½F_2/F^-$	$½F_2 + e \rightarrow F^-$	+2·87

প্রমাণ অবস্থায় পূর্ণ সেলের মোট তড়িৎবিভব, একটি অর্ধ সেলের প্রমাণ বা স্ট্যান্ডার্ড জারণ বিভব এবং অপর অর্ধ সেলের স্ট্যান্ডার্ড বিজারণ বিভবের যোগফলের সমান হবে। অর্থাৎ, $E^0{}_{cell} = E^0{}_{ox_1} + E^0{}_{red_2}$, যেখানে $E^0{}_{cell}$ = প্রমাণ অবস্থায় নির্ণীত মোট তড়িৎ বিভব, $E^0{}_{ox_1}$ = যে অর্ধ সেলে ধাতু, আয়নে জারিত হচ্ছে তার স্ট্যান্ডার্ড জারণ বিভব, E_{red_2} = যে অর্ধ সেলে ধাতব আয়ন ধাতুতে বিজারিত হচ্ছে তার স্ট্যান্ডার্ড বিজারণ বিভব।

এখন যদি দেখা যায়, E^0-**এর মান পজিটিভ হচ্ছে,** তাহলে বুঝতে হবে যে **প্রথম অর্ধ সেলে জারণ ঘটছে** অর্থাৎ ধাতুর পরমাণু ইলেকট্রন ত্যাগ করে আয়নে পরিণত হচ্ছে এবং **দ্বিতীয় অর্ধ সেলে বিজারণ ঘটছে** অর্থাৎ ধাতব আয়ন ইলেকট্রন গ্রহণ করে ধাতুতে পরিণত হচ্ছে।

● **তড়িৎ-বিভব শ্রেণির ব্যবহার—(1) বিভিন্ন মৌলের আপেক্ষিক জারণ বা বিজারণ ক্ষমতার পরিমাপ মৌলের তড়িৎ বিভব শ্রেণি থেকে জানা যায়।** যেমন, কোনো মৌলের বিজারণ বিভব অপেক্ষাকৃত বেশি হলে বোঝা যায় যে মৌলটি সহজেই বিজারিত হবে। যেমন, ফ্লুওরিনের বিজারণ বিভব সর্বোচ্চ—এর দ্বারা বোঝায় যে F_2-এর বিজারিত হওয়ার প্রবণতা সবচেয়ে বেশি, অর্থাৎ F_2 হল সবচেয়ে শক্তিশালী জারক। সুতরাং বলা যায় যে, **যে পদার্থের বিজারণ বিভব বেশি, সেগুলি তীব্র জারক এবং যে পদার্থগুলির বিজারণ বিভব কম সেগুলি তীব্র বিজারক পদার্থ হবে।**

(2) তড়িৎ-বিভব শ্রেণি থেকে কোনো সেলের প্রমাণ *e.m.f.*-এর মান জানা যায়। কোনো সেলের প্রমাণ *e.m.f.*-এর মান নীচের ফর্মুলা প্রয়োগ করে নির্ণয় করা যায়—$E^0{}_{cell} = E^0{}_{red}$ (ক্যাথোড) − $E^0{}_{red}$ (অ্যানোড)। যে তড়িদ্দ্বারটির বিজারণ বিভব (E^0) বেশি সেটি ক্যাথোড রূপে কাজ করে, আর যেটির বিজারণ বিভব কম সেই তড়িদ্দ্বারটি অ্যানোড রূপে কাজ করে। যেমন, একটি সেল $Zn/Zn^{2+} \parallel Ag + (1M)/Ag$. যার $E^0{}_{Zn^{2+}/Zn} = -0·76$ V এবং $E^0{}_{Ag^+/Ag} = 80$V. সুতরাং এক্ষেত্রে Ag ক্যাথোড রূপে ক্রিয়া করবে এবং Zn অ্যানোড রূপে কাজ করবে।

$$E_{cell} = E^0{}_{Ag^+/Ag} - E^0{}_{Zn^{2+}/Zn} = 80\text{ V} - (-0·76\text{ V}) = 1·56\text{ V}$$

(3) কোনো বিক্রিয়ার স্বতঃস্ফূর্ততা সম্বন্ধে জানা যায়— সাধারণ ভাবে বলা যায়, একটি রেডক্স বিক্রিয়া নির্দিষ্ট অভিমুখে ঘটবে যদি বিক্রিয়ক দুটির মধ্যে যেটির বিজারণ বিভব অপেক্ষাকৃত বেশি, সেটি যদি বিজারিত হয় অর্থাৎ বিক্রিয়কটি যদি ইলেকট্রন গ্রহণ করে; আর যে বিক্রিয়কটির বিজারণ বিভবের মান কম সেটি যদি জারিত হয় অর্থাৎ ইলেকট্রন বর্জন করে। এটি না হলে বিক্রিয়াটি ঘটবে না। যেমন $Zn^{2+} + Cu \rightarrow Zn + Cu^{2+}$ বিক্রিয়াটি সম্মুখ দিকে ঘটবে কিনা বলা যায়। প্রদত্ত সমীকরণে দেখা যায় Zn^{2+}, Zn ধাতুতে বিজারিত হয় এবং Cu ধাতু Cu^{2+}-এ জারিত হয়। কিন্তু বিক্রিয়াটি ঘটতে পারে যদি Zn-এর বিজারণ বিভবের মান

Cu-এর বিজারণ বিভবের মানের চেয়ে বেশি হয়। বাস্তবে দেখা যায় Zn-এর বিজারণ বিভবের মান = (–0·76 V) এবং Cu-এর বিজারণ বিভবের মান = (+0·34 V) অর্থাৎ Zn-এর বিজারণ বিভব, Cu-এর মানের কম। এই কারণে Zn^{2+} আয়ন Cu ধাতুকে বিজারিত করতে সক্ষম হবে না অর্থাৎ বিক্রিয়াটি ঘটবে না। এখানে Cu এর বিজারণ বিভবের মান (+0·34 V) Zn এর বিজারণ বিভবের (–0·76 V) চেয়ে বেশি তাই $Cu^{2+} + 2e \rightarrow Cu$ এবং $Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e$ হবে, অর্থাৎ বিপরীত বিক্রিয়াটি ঘটবে। অনুরূপে $Fe + Cu^{2+} \rightarrow Fe^{2+} + Cu$, $Zn + Pb^{2+} \rightarrow Zn^{2+} + Pb$ বিক্রিয়াগুলি ঘটবে।

(4) কোনো ধাতু অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়ায় H-পরমাণুকে প্রতিস্থাপিত করতে পারবে কিনা জানা যায়। যেমন,

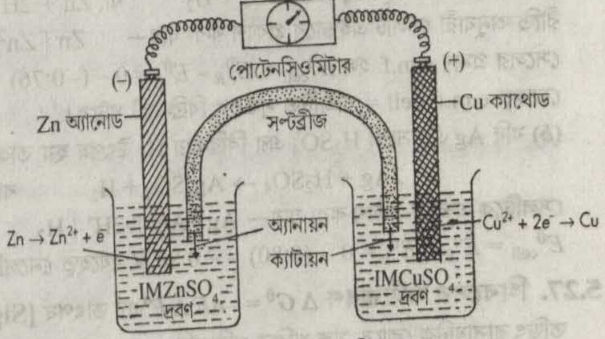
$$M + nH_2SO_4 \rightarrow M^{2+} + \frac{n}{2} H_2$$

এই বিক্রিয়াটি ঘটবে, যদি $E^0_{M^{n+}/M}$ এর মান $E^0_{H^+/H}$-এর মানের চেয়ে কম হয়। সুতরাং তড়িৎ বিভব শ্রেণিতে যে ধাতুগুলির বিজারণ বিভবের মান H এর বিজারণ বিভবের মানের চেয়ে কম হয়, কেবল সেই ধাতুগুলিই অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়ায় H_2 -কে প্রতিস্থাপিত করতে পারে। যেমন, $E^0_{Mg^{2+}/Mg} = 2·37V$, $E^0_{Zn^{2+}/Zn} = -0·76V$, $E^0_{2H^+/H_2} = 2·37V$, যেহেতু Mg এবং Zn এর বিজারণ বিভবের মান H এর বিজারণ বিভবের মানের চেয়ে কম, তাই অ্যাসিড থেকে ধাতুগুলি H কে প্রতিস্থাপিত করবে।

$$Mg + H_2SO_4 = MgSO_4 + H_2$$

● **তড়িৎ রাসায়নিক সেল বা গ্যালভ্যানিক সেল :**

ডানিয়েল সেল হল গ্যালভ্যানিক সেলের একটি উদাহরণ। এই সেলে, একটি বিকারে $ZnSO_4$-এর মোলার দ্রবণ নিয়ে একটি জিঙ্ক ধাতুর পাতকে ওই দ্রবণে আংশিক ডুবিয়ে রাখা হল। আর একটি বিকারে $CuSO_4$-এর মোলার দ্রবণ নিয়ে ওর মধ্যে কপার ধাতুর পাতকে আংশিক ডুবিয়ে রাখা হল। এখন Zn এবং Cu-এর পাত দুটিকে একটি বিভব পার্থক্য মাপার যন্ত্র পোটেনসিওমিটারের মাধ্যমে পরিবাহী তার দিয়ে যোগ করে দুটি বিকারের দ্রবণ দুটিকে একটি সল্ট ব্রিজের মাধ্যমে সংযোগ করলে তড়িৎদ্বার দুটির (Zn পাত এবং Cu পাত) মধ্যে একটি বিভব পার্থক্যের সৃষ্টি হতে দেখা যায়, ফলে তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি হয়। এই ব্যবস্থাকে **গ্যালভ্যানিক সেল বলে।** এখানে দুটি অর্ধসেল [$Zn^{2+}(aq) | Zn(s)$] এবং [$Cu^{2+}(aq) | Cu(s)$]-এর জন্য এই বিভব পার্থক্যের সৃষ্টি হয়। এক্ষেত্রে **Zn পাতটি অ্যানোড কারণ এই পাতে Zn পরমাণুগুলি ইলেকট্রন ত্যাগ করে জারিত হয়। Cu পাতটি ক্যাথোড হয়,** কারণ এই পাতে Cu^{2+} আয়ন **ইলেকট্রন গ্রহণ করে বিজারিত হয়।** এই তড়িদ্দার দুটিতে নীচের মতো জারণ-বিজারণ বিক্রিয়া ঘটে।



চিত্র 5·6 : গ্যালভ্যানিক সেল

অ্যানোড অর্ধসেল : $Zn(s) \rightleftharpoons Zn^{2+} + 2e^-$ (জারণ)

ক্যাথোড অর্ধসেল : $Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons Cu(s)$ (বিজারণ)

নীট বিক্রিয়া : $Zn(s) + \underset{1M}{Cu^{2+}(aq)} \rightleftharpoons Cu(s) + \underset{1M}{Zn^{2+}(aq)}$

● **গ্যালভ্যানিক সেলকে প্রকাশ করার পদ্ধতি :** সেলের যে স্থানে বিভব পার্থক্যের সৃষ্টি হয় (যেমন Zn-এর পাত এবং Zn^{2+} দ্রবণের স্পর্শতলে) খাড়া একটি রেখা (|) দ্বারা প্রকাশ করা হয়। যেমন, $Zn(s) | Zn^{2+}(aq)$ এবং $Cu^{2+}(aq) | Cu(s)$। এর দ্বারা বোঝায় যে, Zn ধাতু এবং Zn^{2+} দ্রবণের মধ্যে এবং Cu^{2+} দ্রবণ এবং Cu পাতের মধ্যে একটি বিভব পার্থক্যের সৃষ্টি হয়। দুটি বিভিন্ন ধাতুর লবণের দ্রবণকে একটি সল্ট ব্রিজের মাধ্যমে সংযোগ করা হলে দ্রবণ দুটির মধ্যে দুটি খাড়া লাইন (||) দ্বারা ওই সংযোগ প্রকাশ করা হয়। যেমন— $Zn^{2+} \| Cu^{2+}$

অ্যানোড বা জারণ অর্ধসেল-কে সর্বদা বামদিকে এবং ক্যাথোড বা বিজারণ অর্ধসেলকে সর্বদা ডানদিকে রাখা হয়। ধাতব তড়িদ্দার দুটিকে দুই প্রান্তে রাখা হয়। যেমন—

অ্যানোড (–)	অ্যানোডীয় তড়িৎবিশ্লেষ্য		ক্যাথোডীয় তড়িৎবিশ্লেষ্য	ক্যাথোড (+)
$Zn(s)$ |	$ZnSO_4(aq)$ 1M	||	$CuSO_4(aq)$ 1M |	$Cu(s)$

● **তড়িৎ রাসায়নিক সেলের তড়িৎ চালক বল ঃ**

যখনই দুটি বিন্দুর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ হয় তখন ওই দুই বিন্দুর মধ্যে একটি বিভব প্রভেদ উপস্থিত থাকে। যখন কোনো সেল বহির্বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহ পাঠায় না, সেই অবস্থায় দুটি ইলেকট্রোডের মধ্যে যে বিভব প্রভেদের সৃষ্টি হয় তাকে সেলের **তড়িৎ চালক বল** (e.m.f.) বলে।

একটি সেলের প্রমাণ তড়িৎচালক বল (E^0_{cell}), ক্যাথোডের প্রমাণ ইলেকট্রোড বিভব $E^0_{cathode}$ থেকে অ্যানোডের প্রমাণ ইলেকট্রোড বিভব E^0_{anode} বিয়োগ করে পাওয়া যায়।

E^0_{cell} = (ক্যাথোডের প্রমাণ ইলেকট্রোড বিভব) – (অ্যানোডের প্রমাণ ইলেকট্রোড বিভব) বা, $E^0_{cell} = E^0_{cathode} - E^0_{anode}$

একটি সেলের বামদিকে অ্যানোড এবং ডানদিকে ক্যাথোড থাকে (রীতি অনুযায়ী)। সুতরাং সেলের *e.m.f.*-কে $E^0_{cell} = E^0_R - E^0_L$ রূপে প্রকাশ করা যায়। এখানে E^0_R এবং E^0_L হল যথাক্রমে ক্যাথোডের প্রমাণ ইলেকট্রোড বিভব এবং অ্যানোডের প্রমাণ ইলেকট্রোড বিভব।

সেলের *e.m.f.* থেকে কোনো জারণ-বিজারণ বিক্রিয়ার স্বতঃস্ফূর্ততার সম্বন্ধে জানা যায়।

কোনো রেডক্স বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে E^0_{cell} নির্ণয় করে যদি **প্রাপ্ত ফলটি পজিটিভ হলে বিক্রিয়াটি স্বাভাবিকভাবে ঘটবে**। যদি প্রাপ্ত ফলটি নেগেটিভ হয়, তাহলে বিক্রিয়াটি ঘটবে না।

● **উদাহরণ (1) ঃ** জিঙ্ক এবং সিলভারের সঙ্গে পৃথকভাবে 1M H_2SO_4 যোগ করা হল। কোন্ ক্ষেত্রে H_2 গ্যাস নির্গত হবে? দেওয়া আছে জিঙ্ক এবং সিলভারের প্রমাণ বিজারণ বিভব হল যথাক্রমে –0·76 V এবং + 0·80 V.

Ans. (*a*) $Zn + H_2SO_4 = ZnSO_4 + H_2$ বা, $Zn + 2H^+ \rightarrow Zn^{2+} + H_2$

রীতি অনুযায়ী সেলটি এইভাবে প্রকাশ করা যায়— $Zn \mid Zn^{2+} \parallel 2H^+ \mid H_2$

সেলের প্রমাণ e.m.f. হল $E^0_{cell} = E^0_R - E^0_L = 0 - (-0{\cdot}76) = +0{\cdot}76$ V

যেহেতু e.m.f. cell = পজিটিভ সুতরাং বিক্রিয়াটি ঘটবে।

(*b*) যদি Ag এর সাথে H_2SO_4 এর বিক্রিয়ায় H_2 উৎপন্ন হয় তাহলে

$2Ag + H_2SO_4 \rightarrow Ag_2SO_4 + H_2$ বা, $2Ag^+ + 2H^+ \rightarrow 2Ag^+ + H_2$

সেলটিকে এভাবে প্রকাশ করা যায়— $Ag \mid Ag^+ \parallel 2H^+ \mid H_2$

$E^0_{cell} = E^0_R - E^0_L = 0 - (0{\cdot}80) = -0{\cdot}80$ V. যেহেতু নেগেটিভ হয় তাই এই বিক্রিয়াটি ঘটবে না।

5.27. গিবসের সমীকরণ $\Delta G^0 = -nF\Delta E^0$এর তাৎপর্য [Significance of Gibb's equation]

তড়িৎ রাসায়নিক কোষে, মুক্ত শক্তির পরিবর্তন ΔG-এর সঙ্গে সম্পাদিত বৈদ্যুতিক কার্যের সম্পর্কটি হল $\Delta G = -nFE_{cell}$ দ্বারা প্রকাশ করা যায়, যেখানে E = সেলের তড়িৎ চালক বল, n = বৈদ্যুতিক কার্যে ব্যবহৃত ইলেকট্রন সংখ্যা, F = 96500 কুলম্ব। বিক্রিয়ক ও বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলির প্রমাণ অবস্থায় $\Delta G^0 = -nFE^0$ যেখানে E^0 = প্রমাণ সেল বিভব। ΔG^0 = প্রমাণ মুক্তশক্তি, এখন তড়িৎকোষ বিক্রিয়ার স্বতঃস্ফূর্ততা নির্ভর করে ΔG^0 এবং E^0_{Cell}-এর পজিটিভ বা নেগেটিভ মানের উপর। আমরা জানি, E^0_{Cell} = ডান অর্ধ কোষের বিজারণ বিভব (E^0_R) – বাম অর্ধ কোষের বিজারণ বিভব (E^0_L)

স্বতঃস্ফূর্ত বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে, ΔG^0 নেগেটিভ (–) এবং E^0_{Cell} পজিটিভ (+) হবে।

● **গাণিতিক উদাহরণ** (Numerical problems) **ঃ**

1. নীচে লিখিত ড্যানিয়েল সেলের e.m.f. নির্ণয় করো ঃ

$Zn \mid Zn^{2+} (1{\cdot}0M) \parallel Cu^{2+} (1{\cdot}0M) \mid Cu,$ $E^0_{Cu} = +0{\cdot}34V$ *এবং* $E^0_{Zn} = -0{\cdot}76V.$

Ans. যেহেতু Cu^{2+} এবং Zn^{2+} উভয় আয়নের গাঢ়ত্ব = 1 মোল/dm³, সুতরাং সেলের ইলেকট্রোডের স্ট্যান্ডার্ড বিভব হবে

$$E_{Cell} = E^0_{Cu^{2+}/Cu} - E^0_{Ni^{2+}/Ni} = +0{\cdot}34 - (-0{\cdot}76) = \mathbf{1{\cdot}1\ volt.}$$

2. যে সেলে নীচের বিক্রিয়াগুলি ঘটে, তার গঠন নির্ণয় করো।

(i) $Fe + CuSO_4 \rightarrow Cu + FeSO_4$, ***(ii)*** $Fe + SnCl_2 \rightarrow Sn + FeCl_2$, ***(iii)*** $Zn + H_2SO_4 \rightarrow H_2 + ZnSO_4$

Ans. যে ধাতুটি *e* ত্যাগ করে আয়নরূপে দ্রবণে যায় তার জারণ ঘটে এবং সেই ধাতুটি অ্যানোডরূপে কাজ করে এবং অপরটি যে *e* গ্রহণ করে তার বিজারণ হয় এবং সেটি ক্যাথোডরূপে ব্যবহৃত হয়। (i) $Fe + CuSO_4 \rightarrow FeSO_4 + Cu$—এই বিক্রিয়াটিতে

$Fe - 2e \rightarrow Fe^{2+}$ (জারণ) এবং $Cu^{2+} + 2e \rightarrow Cu$ (বিজারণ) ঘটে। সুতরাং দেখা গেল, Fe ইলেকট্রন বর্জন করে জারিত হয়। সুতরাং অ্যানোডরূপে ব্যবহার করে এবং Cu ইলেকট্রন গ্রহণ করে বিজারিত হয়, তাই ক্যাথোডরূপে কাজ করে। সুতরাং বিক্রিয়াটির সেলের গঠন হবে—

$$\overset{-}{} Fe \mid FeSO_4 \parallel CuSO_4 \mid Cu \overset{+}{}$$

বা, $$Fe(s) \mid Fe^{2+}(aq) \parallel Cu^{2+}(aq) \mid Cu(s)$$

(ii) $Fe + SnCl_2 \rightarrow FeCl_2 + Sn$—এই বিক্রিয়ায় $Fe - 2e \rightarrow Fe^{++}$ (জারণ) এবং $Sn^{2+} + 2e \rightarrow Sn$ (বিজারণ) হয়। বিক্রিয়াটিতে Fe ইলেকট্রন ত্যাগ করে জারিত হয় এবং Sn^{2+} ইলেকট্রন গ্রহণ করে বিজারিত হয়, তাই এক্ষেত্রে Fe অ্যানোড এবং Sn ক্যাথোড হবে। সুতরাং বিক্রিয়াটির সেলের গঠন হবে—

$$\overset{-}{} Fe(s) \mid Fe^{2+}(aq) \parallel Sn^{++}(aq) \mid Sn(s) \overset{+}{}$$

(iii) $Zn + H_2SO_4 \rightarrow ZnSO_4 + H_2$—এই বিক্রিয়ায় $Zn - 2e \rightarrow Zn^{2+}$ (জারণ) এবং $2H^+ + 2e \rightarrow H_2$ (বিজারণ) হয়। সুতরাং বিক্রিয়াটিতে Zn জারিত হয় বলে অ্যানোড এবং H^+ বিজারিত হয় বলে ক্যাথোড হবে। সুতরাং সেলের গঠন হবে—

$$\overset{-}{} Zn(s) \mid Zn^{2+}(aq) \parallel 2H^+(aq) \mid H_2(g) \overset{+}{}$$

3. নীচের বিক্রিয়াটি স্বতঃস্ফূর্ত হবে কিনা নির্ণয় করো—$Ni(S) + Cu^{2+}(aq) \rightarrow Cu(S) + Ni^{2+}(aq)$ $E^0_{Ni^{2+}/Ni} = -0{\cdot}25V$ এবং $E^0_{Cu^{2+}/Cu} = +0{\cdot}34V$.

Ans. $E^0_{Cell} = E^0_R - E^0_L = E^0_{Cu^{2+}/Cu} - E^0_{Ni^{2+}/Ni} = 0{\cdot}34 - (-0{\cdot}25) = 0{\cdot}59V$

$\therefore$ এখানে $n = 2$. $\therefore \Delta G^0 = -nF E^0_{cell} = -2 \times 96500C \times 0{\cdot}59V = -113870$ J

যেহেতু $E^0_{cell} = +Ve$ এবং $\Delta G^0 = -ve$ সুতরাং বিক্রিয়াটি ঘটবে।

4. 1M $CuSO_4$ দ্রবণকে একটি নিকেলের পাত্রের মধ্যে রাখা যাবে কি? দেওয়া আছে $E^0_{Ni/Ni^{2+}} = +0{\cdot}25$ V এবং $E^0_{Cu/Cu^{2+}} = -0{\cdot}34$ V.

Ans. এই প্রশ্নটিতে বিক্রিয়াটি ঘটবে কিনা নির্ণয় করতে হবে। $Ni + Cu^{2+} \rightarrow Ni^{2+} + Cu$

বিক্রিয়াটিকে সেলের রূপ দিলে পাই, $Ni \mid Ni^{2+} \parallel Cu^{2+} \mid Cu$

দেওয়া আছে, $E^0_{Ni/Ni^{2+}} = +0{\cdot}25$ V এবং $E^0_{Cu/Cu^{2+}} = -0{\cdot}34$ V

সুতরাং বিজারণ বিভব হবে $E^0_{Ni^{2+}/Ni} = -E^0_{Ni/Ni^{2+}} = -0{\cdot}25$ V

এবং $E^0_{Cu^{2+}/Cu} = -E^0_{Cu/Cu^{2+}} = -(-0{\cdot}34 \text{ V}) = +0{\cdot}34$ V

এখন $E^0_{cell} = E^0_R - E^0_L = +0{\cdot}34 - (-0{\cdot}25 \text{ V}) = +0{\cdot}59$ V

যেহেতু E^0_{cell} পজিটিভ সুতরাং বিক্রিয়াটি ঘটবে, তাই $CuSO_4$ দ্রবণকে Ni পাত্রে রাখা যাবে না।

• অনুশীলনী •

রাসায়নিক সাম্য

1. (i) লোহিত তপ্ত লোহার সঙ্গে জলীয় বাষ্পের বিক্রিয়া প্রথমে আবদ্ধ পাত্রে ও পরে খোলা পাত্রে করা হল। উভয় ক্ষেত্রে উৎপন্ন পদার্থের পরিমাণ কি এক হবে? [*H.S. 2001*]

(ii) উভমুখী বিক্রিয়া কাকে বলে উপযুক্ত উদাহরণ দিয়ে বুঝিয়ে দাও।

(iii) রাসায়নিক সাম্য বলতে কী বুঝ ব্যাখ্যা কর। রাসায়নিক সাম্যকে গতিশীল সাম্য বলা হয় কেন একটি উদাহরণ সহকারে ব্যাখ্যা কর। রাসায়নিক সাম্যের উপর অনুঘটকের প্রভাব কী? [*H.S. '92, '93, 2000, '02*]

2. (a) ভরক্রিয়া সূত্রটি বিবৃত করো এবং ব্যাখ্যা করে বুঝিয়ে দাও। সূত্রটির গাণিতিক রূপটি দেখাও। অথবা, এই সূত্র থেকে কোনো উভমুখী বিক্রিয়ার সাম্য ধ্রুবক নির্ণয় কর। **(b)** সক্রিয় ভর বলতে কী বুঝ? [*H.S. 2001*]

(c) সাম্য ধ্রুবক বলতে কী বুঝ? একটি উভমুখী বিক্রিয়ায় সাম্য ধ্রুবক কোন্ কোন্ বিষয়ের উপর নির্ভর করে?

3. সাম্য ধ্রুবকের সংজ্ঞা দুটি উদাহরণ দিয়ে বুঝিয়ে দাও। কোন গ্যাসীয় বিক্রিয়ায় সাম্য ধ্রুবক K_p এবং K_c-এর গাণিতিক সম্পর্ক প্রকাশ কর। [*H.S. '99*]

4. (a) উভমুখী বিক্রিয়াটির সাম্যধ্রুবক নির্ণয় করো— $2A + B \rightleftharpoons 3C + 2D$

(b) সাম্য ধ্রুবক কখন K_p দিয়ে এবং কখন K_c-দিয়ে প্রকাশ করা হয়? কোন জাতীয় বিক্রিয়ায় K_p এবং K_c-এর মান এক হবে এবং কোন ক্ষেত্রে বিভিন্ন হবে? [*H.S. 2001*]

5. নিম্নলিখিত রাসায়নিক বিক্রিয়ার সাম্যধ্রুবক K_c-এর সমীকরণটি লিখ। $N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3 + 25000$ ক্যালোরি
নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে উপরের বিক্রিয়ার K_c-এর গাণিতিক মানের হ্রাস বা বৃদ্ধি হবে কিংবা অপরিবর্তিত থাকবে যুক্তিসহ লিখ যদি—
(i) সাম্যাবস্থায় সিস্টেমের অন্য শর্তগুলি অপরিবর্তিত রেখে কেবল উষ্ণতা বাড়ান হয়, **(ii)** সাম্যাবস্থায় সিস্টেমের উষ্ণতা এবং গাঢ়ত্ব স্থির রেখে কেবলমাত্র চাপ বাড়ান হয়, **(iii)** সাম্যাবস্থায় সিস্টেমের উষ্ণতা, গাঢ়ত্ব এবং চাপ অপরিবর্তিত রেখে একটি উপযুক্ত অনুঘটক যোগ করা হয়; **(iv)** (ii) এবং (iii) নম্বর ক্ষেত্রে যদি কোন সম্ভাব্য পরিবর্তন ঘটে তা লিখ। সবগুলির ক্ষেত্রে তোমার উত্তরের স্বপক্ষে যুক্তি দেখাও।

6. উভমুখী বিক্রিয়াগুলির K_c এবং K_p-এর মধ্যে সম্পর্ক নির্ণয় করো—**(i)** $2SO_3 + O_2 \rightleftharpoons 2SO_3$ **(ii)** $N_2 + O_2 \rightleftharpoons 2NO$

7. লা শাতেলিয়ারের নীতি বিবৃত কর। এই নীতির সাহায্যে হেবার পদ্ধতিতে NH_3 প্রস্তুতিতে তাপ, চাপ ও অনুঘটকের প্রভাব বর্ণনা করো। [*H.S. 2000, 2002*]

8. নির্দিষ্ট উষ্ণতায় $N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3 +$ তাপ—এই বিক্রিয়াটি সাম্য অবস্থায় আছে। এই অবস্থায় নীচের পরিবর্তনগুলি করা হলে সাম্যাবস্থা কীভাবে প্রভাবিত হবে? **(i)** বাইরে থেকে N_2 যোগ করা হল, **(ii)** বাইরে থেকে NH_3 যোগ করা হল, **(iii)** উৎপাদিত NH_3 সরিয়ে নেওয়া হল, **(iv)** নিষ্ক্রিয় গ্যাস যোগ করা হল। বিক্রিয়াটিকে একটি আবদ্ধ পাত্রে ঘটালে বিক্রিয়াটি কী সম্পূর্ণ হবে?

9. রাসায়নিক সাম্যের উপর নিষ্ক্রিয় গ্যাস যোগ করার প্রভাব এবং অনুঘটকের প্রভাব আলোচনা করো। [*H.S. '98*]

10. নীচের কোন্ কোন্ বিক্রিয়াগুলির সাম্য, চাপের পরিবর্তনে প্রভাবিত হবে না এবং কেনো হবে না বল ঃ
(i) $4HCl + O_2 \rightleftharpoons 2H_2O + 2Cl_2$, **(ii)** $CO + H_2O$ (বাষ্প) $\rightleftharpoons CO_2 + H_2$, **(iii)** $2NO + O_2 \rightleftharpoons 2NO_2$.

11. $N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3$—এই বিক্রিয়াটিতে মোট আয়তন পরিবর্তন না করে যদি কিছু নিষ্ক্রিয় গ্যাস যোগ করা হয়, তাহলে কী হবে?

12. সাম্য ধ্রুবককে K_p বা K_c রূপে প্রকাশ করা যায়। নীচের সাম্যগুলির মধ্যে কোন্‌টিতে K_p এবং K_c-এর মান একই হবে?
(a) $PCl_5 \rightleftharpoons PCl_3 + Cl_2$, **(b)** $2SO_2 + O_2 \rightleftharpoons 2SO_3$, **(c)** $N_2 + O_2 \rightleftharpoons 2NO$, **(d)** $N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3$

13. $N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3$—এই বিক্রিয়ার সাম্যধ্রুবক দুটি K_c এবং K_p রূপে প্রকাশ করো এবং ওই ধ্রুবক দুটির মধ্যে সম্পর্ক নির্ণয় করো। [*H.S. 2000*]

14. বক্তব্যগুলির ব্যাখ্যা করো ঃ— (i) তাপমাত্রার পরিবর্তন হলে সাম্যধ্রুবকের (K_p) গাণিতিক মান পরিবর্তিত হয়। **(ii)** কোনো বিক্রিয়ায় সাম্যধ্রুবকের মান জানা থাকলে কোনো একটি বিশেষ বিক্রিয়া কতদূর সম্পন্ন হয়েছে জানা যায়। **(iii)** যে কোনো উভমুখী বিক্রিয়ায় উভয় দিক থেকে সাম্যাবস্থায় পৌঁছান যায়। **(iv)** উভমুখী বিক্রিয়া কখনো সম্পূর্ণ হয় না। **(v)** সাম্যাবস্থায় সিস্টেমের উষ্ণতা ও গাঢ়ত্ব অপরিবর্তিত রেখে সিস্টেমের চাপ বাড়ালে K_c-এর মান বদলায় না। **(vi)** সিস্টেমের উষ্ণতা, চাপ এবং গাঢ়ত্ব অপরিবর্তিত রেখে একটি উপযুক্ত অনুঘটক যোগ করলে K_c-এর মান পরিবর্তিত হয় না। **(vii)** উভমুখী বিক্রিয়ায় সম্মুখ বিক্রিয়াটি তাপ উৎপাদক হলে, উষ্ণতা বাড়ালে বিক্রিয়াজাত পদার্থের পরিমাণ কমে যায়। **(viii)** একটি আবদ্ধ পাত্রে 1 মোল C_2H_5OH-এ 1 মোল CH_3COOH-কে দীর্ঘ সময় ধরে উত্তপ্ত করলেও কখনোই 1 মোল এস্টার ও 1 মোল জল উৎপন্ন হয় না কেন?

● নৈর্ব্যক্তিক প্রশ্ন (সঠিক উত্তরটি নির্বাচন কর) ঃ

1. কোন্ ক্ষেত্রে বিক্রিয়া সম্পূর্ণতার দিকে সবচেয়ে বেশি এগোয়—**(a)** $K = 10^2$, **(b)** $K = 10^{-2}$, **(c)** $K = 10$, **(d)** K [*Ans.* (a)]

2. একটি আবদ্ধ পাত্রে 25°C উষ্ণতায় $SO_2Cl_2\ (g) \rightleftharpoons SO_2\ (g) + Cl_2\ (g)$ সিস্টেমে হিলিয়াম গ্যাস ভর্তি করা হলে, নীচের কোন্‌গুলি ঠিক? **(a)** SO_2, Cl_2 এবং SO_2Cl_2-এর গাঢ়ত্বের পরিবর্তন হবে। **(b)** আরো বেশি Cl_2 উৎপন্ন হবে। **(c)** আরো বেশি SO_2Cl_2 উৎপন্ন হবে। **(d)** SO_2-এর গাঢ়ত্ব কমবে। [*Ans. c, d*]

3. $H_2\ (g) + I_2\ (g) \rightleftharpoons 2HI\ (g)$ বিক্রিয়াটির সাম্য K_p-এর মান পরিবর্তিত হবে—
(a) মোট চাপের দ্বারা, **(b)** অনুঘটক দ্বারা, **(c)** উপস্থিত H_2 এবং I_2-এর পরিমাণ দ্বারা, **(d)** উষ্ণতা দ্বারা। [*Ans.* (*d*)]

অ্যাসিড-ক্ষারক এবং দ্রাব্যতা সাম্য

[A] অতিসংক্ষিপ্ত উত্তরধর্মী ঃ

(1) pH কাকে বলে? **(2)** জলে AgCl এর দ্রাব্যতা কী হবে যখন ওর সঙ্গে NaCl দ্রবণ যোগ করা হয়? **(3)** প্রশমন বিন্দুতে pK_{In} এবং pH-এর মধ্যে সম্পর্ক কী? **(4)** CH_3COONH_4 দ্রবণে কয়েক ফোঁটা অ্যাসিড যোগ করলে pH কী হবে? **(5)** জলের সক্রিয় ভর কত? **(6)** NH_4OH-কে HCl দ্বারা টাইট্রেট করলে কোন সূচক ব্যবহার করবে? **(7)** প্রশমন বিন্দুকে pK_{In} এবং pH-এর মধ্যে সম্পর্কটি প্রকাশ করো। **(8)** ধাতব মূলক বিশ্লেষণে Group V-এ অতিরিক্ত NH_4OH যোগ করার কারণ কী? **(9)** NaCl-এর জলীয় দ্রবণে HCl গ্যাস চালনা করলে কী হবে? **(10)** আয়নীভবন ধ্রুবকের সাহায্যে দুটি মৃদু অ্যাসিডের তীব্রতার তুলনা করার সম্পর্কটি প্রকাশ করো। **(11)** যে সূত্রটি মৃদু তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের বিয়োজন ধ্রুবক এবং দ্রবণের গাঢ়ত্বের মধ্যে সম্পর্ক প্রকাশ করে সেই সূত্রটি বিবৃত করো এবং সূত্রটির নাম বলো। **(12)** জলের আয়নীয় গুণফল কাকে বলে? **(13)** জলের আয়নীয় গুণফলের উপর উষ্ণতার প্রভাব কী? তার কারণ বল। **(14)** যে উষ্ণতায় $K_w = 10^{-13}$ সেই উষ্ণতায় প্রশম দ্রবণের pH এবং pOH এর মান কত হবে? **(15)** দ্রাব্যতা গুণফল এবং আয়নীয় গুণফলের মধ্যে পার্থক্য কী? **(16)** AgCl কোনটিতে বেশি দ্রাব্য হবে?—জলীয় দ্রবণে না NaCl এর দ্রবণে?

[B] সংক্ষিপ্ত উত্তরধর্মী ঃ

(1) দ্রবণ থেকে সাবানের অধঃক্ষেপণের জন্য দ্রবণে NaCl যোগ করা হয় কেন?

(2) একটি দ্রবণে Cu^{2+} এবং Ni^{2+} আছে। ওই দ্রবণে H_2S চালনা করলে (HCl যোগ করার পর) কোনটি অধঃক্ষিপ্ত হবে এবং কেন?

(3) রক্তের pH কত? বিভিন্ন ধরনের খাদ্য খাওয়ার পরও রক্তের pH-এর পরিবর্তন হয় না কেন?

(4) মিথাইল-অরেঞ্জ সূচকের ক্ষেত্রে একটি দ্রবণের বর্ণ হলুদ হয়। দ্রবণটির pH কত হতে পারে?

(5) আয়নীভবন মাত্রা কাকে বলে? তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের আয়নীভবন মাত্রা নির্ণয়ের প্রয়োজনীয় সমীকরণটি প্রতিষ্ঠা কর।

(6) বাফার দ্রবণ কাকে বলে? বাফার দ্রবণ কয় রকমের হয়? উদাহরণসহ বাফার ক্রিয়া ব্যাখ্যা করে বুঝিয়ে দাও।

(7) অ্যাসিড বাফার এবং ক্ষারকীয় বাফারের pH নির্ণয়ে সংশ্লিষ্ট সমীকরণটি প্রতিষ্ঠা কর। কয়েকটি বাফারের উদাহরণ দাও।

(8) অস্‌ওয়াল্ডের লঘুকরণ সূত্রটি বিবৃত কর এবং সূত্রটির গাণিতিক রূপটি প্রকাশ কর। সূত্রটির সীমাবদ্ধতা আলোচনা কর।

(9) টীকা লেখ—(i) বিয়োজন মাত্রা (ii) দ্রাব্যতা ও দ্রাব্যতা গুণফল, (iii) সমআয়ন প্রভাব।

(10) K_w-এর তাৎপর্য ব্যাখ্যা কর। K_w-এর মান কীভাবে উষ্ণতার সঙ্গে পরিবর্তিত হয় এবং কেন ব্যাখ্যা করো।

(11) কারণ ব্যাখ্যা কর ঃ (i) অক্সালিক অ্যাসিড এবং NaOH-এর টাইট্রেশনে মিথাইল অরেঞ্জ উপযুক্ত নির্দেশক নয়। (ii) ফিনলপথ্যালিন যুক্ত অ্যামোনিয়ার জলীয় দ্রবণের বর্ণ, ওই দ্রবণে NH_4Cl যোগ করার সঙ্গে সঙ্গে কমতে থাকে এবং শেষে বর্ণহীন হয়ে যায়। (iii) ফেনলপথ্যালিনের বর্ণ অ্যাসিডে বর্ণহীন কিন্তু ক্ষারীয় দ্রবণে বেগুনি লাল। (iv) অ্যাসিড যুক্ত $ZnSO_4$ দ্রবণে H_2S চালনা করলে ZnS-এর সাদা অধঃক্ষপ পড়ে না। (v) সাধারণ লবণের সম্পৃক্ত জলীয় দ্রবণে HCl গ্যাস চালনা করলে বিশুদ্ধ NaCl অধঃক্ষিপ্ত হয়। (vi) বাফার দ্রবণের সঙ্গে সামান্য পরিমাণ অ্যাসিড অথবা ক্ষার যোগ করলেও দ্রবণটির pH-এর পরিবর্তন হয় না।

[C] রচনাধর্মী ঃ

(1) বাফার দ্রবণের সংজ্ঞা লেখ এবং বাফার দ্রবণের কার্য-প্রণালী বুঝিয়ে দাও।

(2) সূচক কী? কোনো সূচকের পাল্লা বলতে কী বুঝ? সূচক সম্বন্ধে অস্‌ওয়াল্ডের মতবাদটি আলোচনা করো।

(3) (i) তীব্র অ্যাসিডের সঙ্গে তীব্র ক্ষারের টাইট্রেশন, (ii) তীব্র অ্যাসিডের সঙ্গে মৃদু ক্ষারের টাইট্রেশনে এবং (iii) মৃদু অ্যাসিডের সঙ্গে তীব্র ক্ষারের টাইট্রেশনে তুমি কী কী নির্দেশক ব্যবহার করবে—কারণ সহ উল্লেখ করো।

(4) (i) দ্রাব্যতা গুণফল বলতে কী বুঝায় ব্যাখ্যা কর। (ii) pH এবং pOH-এর সংজ্ঞা লেখ। প্রমাণ কর যে, pH + pOH = 14. (iii) দ্রাব্যতার উপর সমআয়নের প্রভাব কী? বিশুদ্ধ NaCl কীভাবে প্রস্তুত করা যায়?

(5) লঘু HCl-এর উপস্থিতিতে $CuSO_4$ এবং $ZnSO_4$-এর মিশ্রণের দ্রবণে H_2S চালনা করলে CuS অধঃক্ষিপ্ত হয় ZnS অধঃক্ষিপ্ত হয় না কেন? রাসায়নিক বিশ্লেষণে দ্রাব্যতা গুণফলের প্রয়োগ বুঝিয়ে দাও।

(6) (i) $AlCl_3$ এবং $ZnCl_2$-এর জলীয় দ্রবণে NH_4Cl যোগ করে NH_4OH যোগ করলে $Al(OH)_3$ অধঃক্ষিপ্ত হয় কিন্তু $Zn(OH)_2$ অধঃক্ষিপ্ত হয় না কেন? (ii) AgCN জলে অদ্রাব্য, কিন্তু AgCN-এর জলীয় প্রলম্বনে NaCN দ্রবণ যোগ করলে AgCN দ্রবীভূত হয়ে যায় কেন? (iii) দেখাও যে, 0·1 (M) HCl-এর pH = 1 হলেও 0·1 (M) CH_3COOH-এর pH = 1 নয়। (iv) NH_4OH যুক্ত $ZnSO_4$ দ্রবণে H_2S চালনা করলে ZnS-এর সাদা অধঃক্ষেপ পড়ে কেন?

[D] গাণিতিক প্রশ্নাবলি ঃ

(1) 0·05 M ডাইমিথাইল অ্যামিনের জলীয় দ্রবণের pH = 12 হলে K_b-এর মান কত? [*Ans.* 2×10^{-3}]

(2) 0·02 M পিরিডিন হাইড্রোক্লোরাইড দ্রবণের pH = 3·44, পিরিডিনের আয়নীভবন ধ্রুবক নির্ণয় কর। [*Ans.* $1·5 \times 10^{-9}$]

(3) 0·01 M CH_3COOH দ্রবণের বিয়োজনমাত্রা = 0·0134. CH_3COOH-এর আয়নীভবন ধ্রুবক কত? [*Ans.* $1·8 \times 10^{-6}$]

(4) H_2S-এর K_1 এবং K_2 যথাক্রমে 1×10^{-7} এবং $1·3 \times 10^{-13}$ হলে, 0·1 M H_2S-এর দ্রবণের pH নির্ণয় করো। [*Ans.* pH = 4]

(5) 0·1 M CH_3COOH-এর সঙ্গে 0·1 M NaOH দ্রবণ টাইট্রেট করলে প্রশমণক্ষণে দ্রবণটির pH কত হবে? CH_3COOH এর $K_a = 1·9 \times 10^{-5}$. [*Ans.* 8·7]

(6) 1 লিটার দ্রবণে 1 (M) অ্যাসেটিক অ্যাসিড এবং 1 মোল অ্যাসিটেট আয়ন আছে এমন দ্রবণে 0·2 মোল HCl যোগ করলে দ্রবণটির pH কত হবে? [*Ans.* pH = 4·568]

(7) 500 ml জলের সঙ্গে কত গ্রাম NH_4Cl যোগ করলে উৎপন্ন দ্রবণটির pH = 4·5 হবে? NH_4OH-এর $K_b = 1·8 \times 10^{-5}$. [*Ans.* 48.15 g]

(8) 1 (M) সোডিয়াম অ্যাসিটেট দ্রবণের আর্দ্র-বিশ্লেষণ মাত্রা এবং pH নির্ণয় করো। সাম্য অবস্থায় উপস্থিত প্রত্যেকটি আয়নের গাঢ়ত্ব নির্ণয় করো। CH_3COONa-এর $K_b = 5·6 \times 16^{-10}$.

[*Ans.* $h = 7·5 \times 10^{-6}$, pH = 7·9, $[OH^-] = [CH_3COOH] = 7·5 \times 10^{-7}$ মোল/লি. $[H^+] = 1·3 \times 10^{-8}$ মোল/লি.]

(9) যখন 0·2 M অ্যাসেটিক অ্যাসিডকে 0·50 লিটার জলে 0·2 (M) NaOH দ্বারা প্রশমিত করা যায়, শেষ দ্রবণটি সামান্য ক্ষারীয় হয়। শেষ দ্রবণটির pH নির্ণয় করো। অ্যাসেটিক অ্যাসিডের $K_a = 1·8 \times 10^{-51}$. [*Ans.* 8·873]

জারণ-বিজারণ সাম্য

[A] সংক্ষিপ্ত উত্তর ভিত্তিক ঃ (i) ΔG^0 এবং সেলের e.m.f. এর সম্পর্ক কী? (ii) জারণ সংখ্যা কাকে বলে? (iii) $Ni(CO_4)$-এ Ni এর জারণ সংখ্যা কত? (iv) জারণ-বিজারণ বিক্রিয়া কাকে বলে—উদাহরণ দাও। (v) $MnO_2 + 4HCl = MnCl_2 + Cl_2 + 2H_2O$ বিক্রিয়ায়—কোন্‌টি জারিত এবং কোন্‌টি বিজারিত হয়। (vi) প্রমাণ ইলেকট্রোড বিভব কাকে বলে?

রচনাধর্মী ঃ

1. এমন কোনো পদার্থ তোমার জানা আছে কী যারা জারক এবং বিজারক উভয়রূপে ব্যবহার করতে পারে? উদাহরণ দাও। ইলেকট্রনীয় মতবাদ অনুযায়ী জারক এবং বিজারক দ্রব্যের সংজ্ঞা লেখ।

2. জারণ এবং বিজারণ ক্রিয়ার ইলেকট্রনীয় ব্যাখ্যা উপযুক্ত উদাহরণসহ লেখ। **(i)** জারণ-বিজারণ বিক্রিয়ায় জারক দ্রব্য বিজারিত হয় এবং বিজারক দ্রব্য জারিত হয়—উদাহরণসহ উক্তিটি বোঝাও। **(ii)** 'জারণ-বিজারণ বিক্রিয়ায় প্রকৃতপক্ষে এক পদার্থ থেকে অন্য পদার্থে ইলেকট্রন স্থানান্তরিত হয়'—ব্যাখ্যা কর।

3. কোনো মৌলের জারণ অবস্থা এবং জারণ সংখ্যা বলতে কী বুঝ, উদাহরণ দিয়ে বোঝাও। একই মৌলের জারণ সংখ্যা, ওর বিভিন্ন যৌগের মধ্যে কোনোটিতে পজিটিভ আবার কোনোটিতে নেগেটিভ হতে পারে, উদাহরণসহ দেখাও।

4. প্রদত্ত মৌলগুলির জারণ সংখ্যা নির্ণয় করো ঃ **(i)** HNO_3-এর মধ্যে N-এর, **(ii)** N_2O_3-এর মধ্যে N-এর, **(iii)** Br_2-তে ব্রোমিনে, **(iv)** ClO^-এর মধ্যে Cl, **(v)** CH_3CH_2OH-এ C–1এবং C–2 এর জারণ অবস্থা লেখো, **(vi)** $Cr_2O_7^{-2}$-এর মধ্যে Cr, **(vii)** $Ca(OCl)Cl$ যৌগে Cl এর। **(viii)** প্রদত্ত যৌগগুলিতে N-এর জারণ সংখ্যা নির্ণয় করো—$NaNO_3$; NH_3; N_2H_4; NH_4Cl; HNO_3; NH_4NO_3

5. নীচের বিক্রিয়াগুলিতে কোন্ বিকারকটি জারিত এবং কোন্‌টি বিজারিত হল জারণ সংখ্যার সাহায্যে দেখাও ঃ

(a) $2H_2S + SO_2 \rightarrow 2H_2O + 3S$ **(b)** $CuSO_4 + Zn = ZnSO_4 + Cu$ **(c)** $2KI + Cl_2 = 2KCl + I_2$
(d) $2HgCl_2 + SnCl_2 = Hg_2Cl_2 + SnCl_4$ **(e)** $5Cu + 2HNO_3 = 5CuO + N_2 + H_2O$

6. বিক্রিয়াগুলিতে দেখাও যে, জারণ-বিজারণ ক্রিয়া ঘটেনি। **(a)** $CaC_2 + 2H_2O = Ca(OH)_2 + C_2H_2$, **(b)** $NaCl + AgNO_3 = AgCl + HNO_3$, **(c)** $BaCl_2 + Na_2SO_4 = BaSO_4 + 2NaCl$, **(d)** $Cl + Cl = Cl_2$,

7. নীচের সমীকরণগুলি জারণ-সংখ্যার সাহায্যে ব্যালান্স করো।

(i) $H_2O_2 + O_3 \rightarrow H_2O + O_2$ ***[H. S. '99]***; **(ii)** $FeS_2 + O_2 \rightarrow Fe_2O_3 + SO_2$; **(iii)** $H_2S + K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4 \rightarrow S + K_2SO_4 + Cr_2(SO_4)_2 + H_2O$; **(iv)** $S + H_2SO_4 \rightarrow SO_2 + H_2O$ ***[H. S. '00]***; **(v)** $H_2S + HNO_3 \rightarrow S + NO + H_2O$; **(vi)** $Cu + HNO_3 \rightarrow Cu(NO_3)_2 + NO + H_2O$; **(vii)** $FeCl_3 + H_2S \rightarrow FeCl_2 + HCl + S$; **(viii)** $KMnO_4 + FeSO_4 + H_2SO_4 \rightarrow K_2SO_4 + MnSO_4 + Fe(SO_4)_3$ ***[H. S. '99]***; **(ix)** $KBr + H_2SO_4 \rightarrow K_2SO_4 + Br_2 + SO_2 + H_2O$; **(x)** $KMnO_4 + HCl \rightarrow KCl + MnCl_2 + Cl_2 + H_2O$; **(xi)** $C + H_2SO_4 \rightarrow CO_2 + SO_2 + H_2O$; **(xii)** $S + HNO_3 \rightarrow H_2SO_4 + NO_2 + H_2O$; **(xiii)** $HNO_3 + HI \rightarrow NO + I_2 + H_2O$; **(xiv)** $NaNO_3 + Zn + NaOH \rightarrow NH_3 + Na_2ZnO_2 + H_2O$; **(xv)** $Cr_2O_3 + Na_2O_2 + H_2O \rightarrow Na_2CrO_4 + NaOH$; **(xvi)** $KMnO_4 + H_2S + H_2SO_4 \rightarrow KHSO_4 + MnSO_4 + S + H_2O$

8. **(a)** জারণ-সংখ্যা কাকে বলে? **(b)** জারণ-সংখ্যার সঙ্গে জারণ-বিজারণের কী সম্পর্ক আছে উদাহরণ দ্বারা দেখাও।
(c) জারণ সংখ্যা ভগ্নাংশ হতে পারে কী? যদি হয় তবে উদাহরণ দাও।

9. **(a)** জারণ-সংখ্যার সাহায্যে ব্যাখ্যা করো ঃ H_2O_2 জারক এবং বিজারক উভয় রূপেই ক্রিয়া করতে সক্ষম। H_2O_2-তে অক্সিজেনের জারণ সংখ্যা এবং যোজ্যতা কত? **(b)** নীচের বিক্রিয়াগুলিতে বিচার করে বল কোন্‌টি জারক এবং কোন্‌টি বিজারক পদার্থ। ইলেকট্রনীয় মতবাদ অনুযায়ী ব্যাখ্যা করে বোঝাও। (i) $Cl_2 + 2I^- = 2Cl^- + I_2$, (ii) $2F_2 + O_2 = 2OF_2$

10. আয়ন ইলেকট্রন পদ্ধতি দ্বারা নীচের সমীকরণগুলি ব্যালান্স করো :

(i) $I^- + H_2O_2 \rightarrow I_2 + 2OH^-$; (ii) $Cr_2O_7^{2-} + C_2H_4O \rightarrow C_2H_4O_2 + Cr^{3+}$

(iii) $Cl_2 + OH^- \rightarrow Cl^- + ClO_3^- + H_2O$; (iv) $Br_2 + H_2O_2$ $BrO_3^- + H_2O$ (acid medium)

(v) $MnO_4 + SO_2^- \rightarrow Mn^{2+} + SO_4^{2-}$ (acid medium)

11. (a) আয়রনের একটি যৌগের নাম করো যাতে ওই ধাতুর জারণ-সংখ্যা +6। [*Ans.* সোডিয়াম ফেরেট—Na_2FeO_4]

(b) যৌগগুলির নাম উল্লেখ করে দেখাও যে সালফারের জারণমাত্রা ধনাত্মক এবং ঋণাত্মক উভয়ই হতে পারে।

12. আয়োজিন প্রায় প্রশম মাধ্যমে সোডিয়াম থায়োসালফেটের সঙ্গে বিক্রিয়া করে। ব্যালেন্স সমীকরণ দাও। এই সমীকরণ থেকে সোডিয়াম থায়োসালফেটের তুল্যাঙ্কভার নির্ণয় করো। এর আণবিক গুরুত্ব ধর, *m*.

13. কারণ ব্যাখ্যা করো :

(i) আয়রনের চেয়ে Al আরও তীব্র বিজারক। (ii) আয়োডিনের চেয়ে Cl_2 তীব্র জারক পদার্থ। (iii) গাঢ় H_2SO_4 জারক পদার্থ। (iv) HNO_3-এর শুধু জারণ ধর্ম আছে, কিন্তু HNO_2-এর জারণ এবং বিজারণ দুই ধর্মই দেখা যায়। (v) Sn^{2+} এবং Fe^{3+} আয়ন দুটি পাশাপাশি থাকতে পারে না। (vi) তড়িৎ রাসায়নিক শ্রেণিতে H-এর উপরে থাকা সত্ত্বেও Al, Zn, Fe-র সঙ্গে HNO_3-এর বিক্রিয়ায় H_2 উৎপন্ন হয় না। (vii) Na জলের সঙ্গে বিক্রিয়া করে কিন্তু Cu করে না। (viii) Zn, HCl-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে, কিন্তু Ag করে না। (ix) Fe, $CuSO_4$ দ্রবণ থেকে Cu মুক্ত করে, কিন্তু Cu, $FeSO_4$ দ্রবণ থেকে Fe-কে মুক্ত করতে পারে না। (x) লোহার উপর টিনের প্রলেপে আঁচড় পড়লে লোহা তাড়াতাড়ি ক্ষয়ে যায়, কিন্তু লোহার উপর দস্তা লেপনে আঁচড় পড়লে লোহার ক্ষয় হয় না। (xi) লোহার পাত্রে $CuSO_4$ দ্রবণ রাখা যায় না। (xii) লঘু HCl দ্রবণ থেকে Zn হাইড্রোজেন প্রতিস্থাপিত করে, কিন্তু তামা পারে না।

14. তড়িৎ রাসায়নিক সারিতে হাইড্রোজেন, লোহা ও তামার আপেক্ষিক অবস্থানের তাৎপর্য ব্যাখ্যা করো।

15. (i) অর্ধ সেল এবং অর্ধ সেল বিক্রিয়া বলতে কী বোঝ? উদাহরণ সহ বল। (ii) প্রমাণ হাইড্রোজেন বিভব বলতে কী বোঝ? (iii) কপার সালফেট দ্রবণে লোহার দণ্ড ডোবালে দ্রবণটি বর্ণহীন হয়ে যায় কেন? (iv) একটি সেলের e.m.f. মুক্ত শক্তির সঙ্গে কীভাবে সম্পর্কযুক্ত?

16. তড়িৎ বিভব শ্রেণি কাকে বলে বুঝিয়ে লেখ। উক্ত সারির কয়েকটি উপযোগিতা উল্লেখ করো।

17. ইলেকট্রোড বিভব কাকে বলে? একটি ধাতুর লবণের দ্রবণে ওই ধাতুর পাত ডোবালে কী করে তড়িৎ-বিভবের সৃষ্টি হয় ব্যাখ্যা করো।

18. Zn-এর $E^0_{cell} = 0{\cdot}76$ V এবং Ag-এর $E^0_{cell} = +0{\cdot}8$ V বলতে কী বোঝায়?

19. মুক্ত শক্তি কাকে বলে। গিবসের সমীকরণ থেকে কীভাবে জানা যায় যে একটি বিক্রিয়া হবে কিনা।

20. (a) মৌলের প্রমাণ বিজারণ বিভব বলতে কী বোঝ? এর সাহায্যে একটি বিক্রিয়া ঘটবে কিনা কীভাবে জানা যায় উদাহরণের সাহায্যে দেখাও।

(b) ক্রমবর্ধমান ইলেকট্রো পজিটিভ ধর্ম অনুসারে সজ্জিত করো—Mg, Cu, Na, K, Fe, Al, Pb, Hg, Zn.

(c) 1M HCl দ্রবণে Ag ধাতু দ্রবীভূত হবে কী—কারণ ব্যাখ্যা করো।

(d) নীচের ধাতু জোড়ের মধ্যে কোন্ ধাতুটি অপর ধাতুর যৌগকে বিজারিত করবে?

(i) Al এবং Fe, (ii) Hg এবং Cu, (iii) Zn এবং Pb, (iv) Cu এবং Al.

● **গাণিতিক প্রশ্ন :**

1. 1M $AgNO_3$ দ্রবণকে রাখার জন্য কপারের পাত্র ব্যবহার করা যায় কী? দেওয়া আছে $E^0_{Cu^{2+}/Cu} = +0{\cdot}34$ V এবং $E^0_{Ag^+/Ag} = +0{\cdot}80$ V. [*Ans.* না]

2. 1M $AgNO_3$ দ্রবণকে Cuএর চামচ দিয়ে নাড়া যাবে কী? $E^0_{Cu/Cu^{2+}} = -0{\cdot}34$ V এবং $E^0_{Ag^+/Ag} = +0{\cdot}80$ V.

3. 1N H_2SO_4 দ্রবণের সঙ্গে (i) Cu (ii) Fe বিক্রিয়া হবে কী? $E^0_{Cu^{2+}/Cu} = 0{\cdot}34$ V এবং $E^0_{Fe^{2+}/Fe} = -0{\cdot}44$ V.

4. আম্লিক দ্রবণে $KMnO_4$, $K_2Cr_2O_7$ এবং $H_2C_2O_4$-এর তুল্যাঙ্কভার কত?

5. 4N HCl এর উপস্থিতিতে জারক হিসাবে $KH(IO_3)_2$ এর তুল্যাঙ্কভার কত, যে বিক্রিয়ায় বিজারিত পদার্থ রূপে ICl পাওয়া যায়? [*Ans.* 48·75]

6 গ্যাসীয় সূত্রাবলি [Gas Laws]

পদার্থের গ্যাসীয় অবস্থা—সাধারণ চাপ ও উষ্ণতায় গ্যাসীয় পদার্থের নির্দিষ্ট আকার বা আয়তন থাকে না। গ্যাসীয় পদার্থের পরিমাণ যতই কম হোক না কেন, যখন যে পাত্রে রাখা হয় সেই পাত্রের আকার এবং আয়তন লাভ করে। স্থির চাপে উষ্ণতা বাড়ালে বিভিন্ন গ্যাস সমআয়তনে বাড়ে আবার উষ্ণতা কমালে সমআয়তনে কমে। স্থির উষ্ণতায় চাপ বৃদ্ধিতে আয়তন কমে এবং চাপ কমালে আয়তন বাড়ে। একই চাপ ও উষ্ণতায় সমআয়তন সব গ্যাসের মধ্যে সমান সংখ্যক অণু থাকে।

● **পদার্থের গ্যাসীয় অবস্থার বৈশিষ্ট্য** (Special Properties of gas) ঃ পদার্থের গ্যাসীয় অবস্থাটি, অন্য দুটি অবস্থা (কঠিন ও তরল) থেকে সম্পূর্ণ পৃথক। গ্যাসের বিশেষ ধর্মগুলি হল—

(i) প্রসারণশীলতা (Expansibility)—গ্যাসীয় অবস্থায় গ্যাসের অণুগুলির পরস্পরকে আকর্ষণ করার ক্ষমতা অর্থাৎ আন্তরাণবিক আকর্ষণ বল অনেক কমে যায়, ফলে গ্যাসের অণুগুলি খুব সহজে চারিদিকে ছড়িয়ে পড়ে। অণুগুলির মধ্যে আণবিক ব্যবধান খুবই বেশি হয়, তাই গ্যাসের আয়তনের তুলনায় অণুগুলির মোট আয়তন নগণ্য হয়। এর ফলে গ্যাসের কোনো নির্দিষ্ট আকার বা আয়তন নেই। যখন যে পাত্রে রাখা যায় সেই পাত্রের আকার ধারণ করে, অর্থাৎ গ্যাসটি পাত্রের সমস্ত আয়তন জুড়ে থাকে। গ্যাসের এই সাধারণ ধর্মকে প্রসারণশীলতা বলা হয়—সুতরাং সব গ্যাসই প্রসারণশীল।

(ii) সংকোচনশীলতা (Compressibility)—স্থির উষ্ণতায় গ্যাসের উপর চাপ বাড়ালে গ্যাসের অণুগুলির আন্তরাণবিক ফাঁক কমে যায় ফলে গ্যাসের আয়তন কমে। আবার স্থির উষ্ণতায় চাপ কমালে গ্যাসের আয়তন সীমাহীনভাবে বেড়ে যায়। সুতরাং সংশোচনশীলতা গ্যাসের একটি সাধারণ বৈশিষ্ট্য। এই বৈশিষ্ট্য থেকে জানা যায় যে, স্থির উষ্ণতায় চাপ বাড়ালে অথবা স্থির চাপে উষ্ণতা কমালে, গ্যাসের অণুগুলি পরস্পরের কাছে সরে আসে, ফলে গ্যাসটির আয়তন কমে যায় এবং গ্যাসটির সংকোচন হয়।

(iii) গ্যাসীয় চাপ (Gaseous pressure)—পারস্পরিক আকর্ষণ নগণ্য বলে, গ্যাসের অণুগুলি সব সময় গতিশীল থাকে এবং দ্রুতবেগে চলার ফলে পাত্রের দেয়ালে ধাক্কা খায়, ধাক্কার ফলে অণুগুলির গতির হ্রাস হয় না। ফলে গ্যাসের অণুগুলি অনবরত পাত্রের দেয়ালে ধাক্কা দিতে থাকে। এর ফলে পাত্রের দেয়ালে চাপের সৃষ্টি হয়।

(iv) গ্যাসের উপর তাপের প্রভাব (Effect of heat on gas)—গ্যাসীয় অণুগুলির গতির মান উষ্ণতার উপর নির্ভর করে। স্থির চাপে উষ্ণতা বাড়ালে অণুগুলির গতি আগের চেয়ে বেড়ে যাওয়ার ফলে ওর আয়তন বৃদ্ধি পায়। আর আবদ্ধ পাত্রে রেখে উষ্ণতা বাড়ালে চাপ বেড়ে যায়। আর স্থির চাপে একই উষ্ণতা বৃদ্ধিতে প্রত্যেক গ্যাসের আয়তন একই মাত্রায় বাড়ে আর উষ্ণতা হ্রাসে আয়তন একই মাত্রায় কমে।

(v) ব্যাপন ক্ষমতা (Gaseous diffusion)—পরস্পরের মধ্যে রাসায়নিক বিক্রিয়া না ঘটলে, একাধিক গ্যাস যেকোনো অনুপাতে পরস্পরের সঙ্গে দ্রুত মিশে যায় এবং ব্যাপিত হয়ে সমসত্ত্ব মিশ্রণের সৃষ্টি করে।

সব গ্যাসের ভৌত ধর্মগুলি এক রকম বলে কতকগুলি গ্যাসীয় সূত্র আবিষ্কৃত হয়েছে যেগুলি সব গ্যাসের পক্ষে প্রযোজ্য।

6.1. পদার্থের গ্যাসীয় অবস্থা এবং গ্যাসের পরিমাপযোগ্য ধর্মাবলি [Gaseous states of matter and measurable properties of gases]

গ্যাসীয় পদার্থের প্রধান প্রাথমিক ধর্মগুলি হল—ভর, আয়তন, চাপ ও উষ্ণতা। এই ধর্মগুলির বিষয় আলোচনা করা হল—

(1) ভরের পরিমাপ ঃ সরাসরি তুলাযন্ত্রে ওজন করে গ্যাসের ভর নির্ণয় করা যায়। একটি বড়ো পাত্রের মধ্যে পরীক্ষাধীন গ্যাসটিকে ভর্তি করে ওজন নেওয়া হয়। এর পর পাম্পের সাহায্যে ওই পাত্রের সব গ্যাসকে বের করে গ্যাসশূন্য অবস্থায় পাত্রটির ওজন নেওয়া হয়। তাহলে, গ্যাসের ভর = (গ্যাসপূর্ণ পাত্রের ভর) – (গ্যাসশূন্য অবস্থায় পাত্রের ভর)

ভরের একক—S. I. পদ্ধতিতে—**কিলোগ্রাম** এবং C. G. S পদ্ধতিতে, **গ্রাম**। 1 kg = 10^{-3} গ্রাম। গ্যাসের ভর (m)-কে সাধারণত মোলের সংখ্যা দ্বারাও প্রকাশ করা হয়।

$$\text{গ্যাসের মোল সংখ্যা } (n) = \frac{\text{গ্রামে প্রকাশিত গ্যাসের ওজন } (m)}{\text{গ্যাসের গ্রামআণবিক ওজন } (M)}$$

এই সম্পর্ক থেকে গ্যাসের মোল সংখ্যাকে অণুর সংখ্যায় পরিণত করা যায়, **1 মোল = $6{\cdot}023 \times 10^{23}$ সংখ্যক অণু।**

(2) আয়তনের পরিমাপ ঃ কোনো বস্তু যতটা স্থান অধিকার করে তাকেই বস্তুটির আয়তন বলে। কিন্তু যেহেতু কোনো গ্যাসকে

যে পাত্রের মধ্যে রাখা হয়, তার সব স্থানটিই অধিকার করে। তাই যে পাত্রে গ্যাসটিকে রাখা হয় সেই পাত্রের আয়তনই হল গ্যাসটির আয়তন। কারণ গ্যাসের নিজস্ব কোনো আয়তন নেই।

আয়তনের একক—গ্যাসের আয়তনকে সাধারণত লিটার (L), মিলিলিটার (ml) অথবা ঘন সেমি (cm^3) একক দ্বারা প্রকাশ করা হয়। 1 লিটার = 1 dm^3, 1 $dm^3 = 10^3$ cm^3. আয়তনের S. I. একক হল মিটার^3.—এই আয়তনটি বড়ো বলে এই এককের ব্যবহার কম। $1\ m^3 = 10^3\ dm^3 = 10^6\ cm^3$; $1\ litre = 10^3\ cm = 1\ dm^3 = 10^{-3}\ m^3$

(3) গ্যাসের চাপের পরিমাপ ঃ

গ্যাসের চাপ ঃ ***পাত্রের মধ্যে আবদ্ধ কোনো গ্যাস, পাত্রটির ভেতরের দেয়ালের একক ক্ষেত্রফলের উপর লম্বভাবে যে বল প্রয়োগ করে, তাকে ওই গ্যাসের চাপ বলে।*** পাত্রের ভেতরের দেয়ালের ক্ষেত্রফল = A এবং ওই তলের উপর লম্বভাবে প্রযুক্ত বল = F হলে, গ্যাসের চাপ $P = F/A$ হবে অর্থাৎ **চাপ = লম্বভাবে প্রযুক্ত বল/ক্ষেত্রফল।**

ব্যারোমিটারে পারদস্তম্ভের উচ্চতা দেখে বায়ু বা গ্যাসের চাপ মাপা হয়। পারদস্তম্ভের উচ্চতা যদি 76 সেমি হয় তবে বায়ু বা গ্যাসের চাপ = 76 সেমি বা 760 মিমি দৈর্ঘ্যের একটি উল্লম্ব পারদস্তম্ভের চাপ।

76 সেমি পারদস্তম্ভের চাপ = পারদস্তম্ভের উচ্চতা × ঘনত্ব × অভিকর্ষজ ত্বরণ = $76 \times 13{\cdot}6 \times 980 = 1{\cdot}013 \times 10^6$ ডাইন/বর্গ সেমি।

চাপের S.I. একক ঃ সাধারণভাবে চাপের একক মিমি পারদ বা সেমি পারদ বা অ্যাটমোসফিয়ার দ্বারা প্রকাশ করা হয়। এখন **এক অ্যাটমোসফিয়ার চাপ** = 76 সেমি উচ্চতাবিশিষ্ট পারদস্তম্ভের চাপকে S.I. এককে প্রকাশ করলে—

চাপ (P) = উচ্চতা (h) × ঘনত্ব (d) × অভিকর্ষজ ত্বরণ (g)

এক্ষেত্রে h = 76 সেমি = 0·76 মিটার (m) ; d = 13595·1 কিলোগ্রাম/মিটার^3 (kgm^{-3}), g = 9·8 মিটার/সে^{2} (ms^{-2})

চাপ P = $0{\cdot}76 \times 13595{\cdot}1 \times 9{\cdot}8\ (m \times kg\ m^{-3} \times ms^{-2})$ = **$101256{\cdot}3\ kg\ ms^{-2}m^{-2}$**

= **$101256{\cdot}3\ N\ m^{-2}$ = 101256·3 pa** [যেহেতু $1\ kg\ m\ s^{-2}$ = 1 নিউটন N এবং **1 নিউটন/মিটার^2 = 1 পাস্কাল** (pa)]

চাপের বিভিন্ন এককগুলির সম্পর্ক হল—

1 অ্যাটমোসফিয়ার চাপ = 76 সেমি পারদ = 760 মিমি পারদ = 760 টর = 101256·3 Nm^{-2} = 101256·3 pa

S.I. পদ্ধতিতে তাপমাত্রার একক ঃ S.I. পদ্ধতিতে তাপমাত্রার একক হিসাবে কেলভিন (K) ব্যবহার করা হয়।

ডিগ্রি সেলসিয়াস = t^oC হলে, $(t^o + 273) = T$ K, প্রমাণ উষ্ণতা = $0^oC = (0^o + 273) = 273$ K

● **প্রমাণ চাপ ও উষ্ণতা** (Standard Temperature and Pressure—S.T.P.) ঃ ***গ্যাসের আয়তন মাপার ক্ষেত্রে 0°C বা 273K উষ্ণতাকে প্রমাণ উষ্ণতা এবং সমুদ্রপৃষ্ঠে 760 mm পারদস্তম্ভের চাপকে প্রমাণ চাপ বলে ধরা হয়।***

76 সেমি বা 760 মিমি পারদস্তম্ভের চাপ = 1 **অ্যাটমোসফিয়ার** বা বায়ুমণ্ডল চাপ = 101256·3 pa।

'S.T.P.-তে একটি গ্যাসের আয়তন 20 cc' বলতে এই বোঝায় যে 0°C উষ্ণতায় 760 মিমি চাপে গ্যাসটির আয়তন 20 সিসি।

গ্যাসের আয়তন S.I. পদ্ধতিতে হল ঘনমিটার (m^3) অনেক সময় **লিটার (l), মিলিলিটার (ml)** বা **ঘন সেমি (cm^3)** বা **ঘন ডেসিমিটার (dm^3)** ব্যবহার করা হয়। **$1m^3 = 10^3 dm^3 = 10^3 l = 10^6$ ml.**

গ্যাসের আয়তন উল্লেখ করার সময় গ্যাসের চাপ এবং উষ্ণতার উল্লেখ করতেই হয়। বায়ুমণ্ডলের চাপ এবং উষ্ণতার পরিবর্তন সব সময় হয়। নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তনও, চাপ এবং উষ্ণতার পরিবর্তনের সঙ্গে সঙ্গে পরিবর্তিত হয়। উষ্ণতা স্থির রেখে নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের চাপ বাড়লে আয়তন কমে যায় এবং চাপ কমলে আয়তন বেড়ে যায়। আবার চাপ স্থির রেখে গ্যাসের উষ্ণতা বাড়ালে আয়তন বেড়ে যায়, উষ্ণতা কমালে আয়তন কমে যায়। সেজন্য বিভিন্ন **গ্যাসের আয়তন উল্লেখ করার সময় অবশ্যই চাপ ও উষ্ণতা উল্লেখ করতে হয় এবং আয়তন তুলনা করার সময় আয়তনগুলিকে প্রমাণ চাপ ও উষ্ণতায় আনা হয়।**

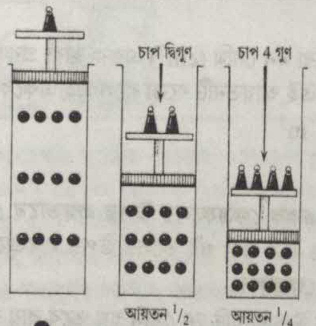
[প্রমাণ চাপের সংজ্ঞায় উষ্ণতার উল্লেখ করা প্রয়োজন, কারণ পারদের ঘনত্ব উষ্ণতার উপর নির্ভর করে—উষ্ণতা বাড়লে ঘনত্ব কমে আর উষ্ণতা কমলে ঘনত্ব বাড়ে। অর্থাৎ উষ্ণতার পরিবর্তনের সঙ্গে সঙ্গে ঘনত্বের পরিবর্তন হয়।]

6.2. গ্যাসের আয়তন ও চাপের সম্পর্ক—বয়েলের সূত্র [Pressure-volume relationship—Boyle's law]

কোনো গ্যাসের উপর চাপ বাড়ালে আয়তন কমে, আবার উষ্ণতা বাড়ালে আয়তন বাড়ে। উষ্ণতা স্থির রেখে কোনো গ্যাসের উপর চাপের পরিবর্তন করলে গ্যাসের আয়তন যে নিয়মে পরিবর্তিত হয়, বিজ্ঞানী **রবার্ট বয়েল** (Robert Boyle) সেই নিয়মটি সূত্রের আকারে প্রকাশ করেন 1660 সালে।

● **বয়েলের সূত্র** (Boyle's law) ঃ ***নির্দিষ্ট উষ্ণতায় কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন, গ্যাসটির চাপের সঙ্গে ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তিত হয়।***

সূত্রের ব্যাখ্যা ঃ উষ্ণতা স্থির রেখে নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের উপর চাপ বাড়ালে গ্যাসের আয়তন কমে এবং চাপ কমালে আয়তন বেড়ে যায়। যেমন, নির্দিষ্ট উষ্ণতায় কোনো গ্যাসের চাপ যদি দ্বিগুণ করা হয়, তবে গ্যাসটির আয়তন অর্ধেক হয়ে যাবে, আবার চাপ যদি আগের অর্ধেক করা হয়, তবে আয়তন আগের দ্বিগুণ হয়ে যায়। যেমন, ধরি, 30°C উষ্ণতায় 760 mm চাপে একটি নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন 20 ml। এখন উষ্ণতা স্থির রেখে চাপ দ্বিগুণ, অর্থাৎ 2 × 760 mm করলে দেখা যাবে আয়তন বিপরীত অনুপাতে কমে 20/2 = 10 ml হয়েছে। 20 ml গ্যাসটির চাপ 4 গুণ বাড়ালে ওর আয়তন 20/4 = 5 ml হবে।



চিত্র 6.1 ঃ স্থির উষ্ণতায় চাপবৃদ্ধিতে গ্যাসের আয়তন হ্রাস

● **বয়েলের সূত্রের গাণিতিক রূপ ঃ** t°C উষ্ণতায় নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের চাপ $= P$ এবং গ্যাসটির আয়তন $= V$ হলে,

বয়েলের সূত্র অনুযায়ী, $V \propto \frac{1}{P}$ যখন উষ্ণতা স্থির, বা, $V = \frac{K}{P}$ (K ধ্রুবক)

বা, $PV = K$ (ধ্রুবক) ... ... (6.1)

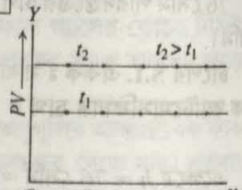
অর্থাৎ, গ্যাসের চাপ × আয়তন = ধ্রুবক।

এই ধ্রুবকটির মান গ্যাসের উষ্ণতা এবং ভরের উপর নির্ভর করে।

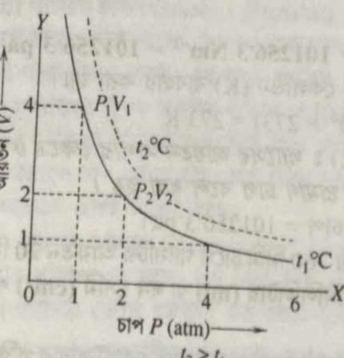
স্থির উষ্ণতায় কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের উপর চাপ P পরপর পরিবর্তিত হয়ে নতুন চাপ যথাক্রমে P_1, P_2, P_3, P_4 ইত্যাদি এবং আয়তন V পরিবর্তিত হয়ে নতুন আয়তন যথাক্রমে V_1, V_2, V_3, V_4 ইত্যাদি হলে, বয়েলের সূত্রানুযায়ী,

$P_1V_1 = P_2V_2 = P_3V_3 = P_4V_4 = K$ (ধ্রুবক) হবে।

অর্থাৎ, P এবং V-এর মান যাই হোক না কেন, **নির্দিষ্ট উষ্ণতায় এবং নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের ক্ষেত্রে P এবং V-এর গুণফল সব সময় একই হয়।**



চিত্র 6.2 ঃ ($PV = K$) লেখ

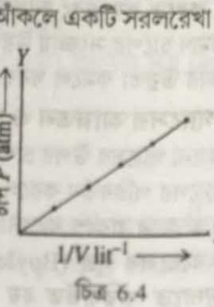


চিত্র 6.3 ঃ বয়েলের সূত্রের (P–V) লেখচিত্র

(i) চাপ P_1, P_2, P_3 ইত্যাদিকে X-অক্ষ এবং P_1V_1, P_2V_2, P_3V_3 ইত্যাদিকে Y-অক্ষ হিসাবে নিয়ে একটি লেখচিত্র প্রকাশ করলে (চিত্র 6.2) একটি সরলরেখা পাওয়া যাবে, যা X-অক্ষের সমান্তরাল হবে। এর থেকে প্রমাণিত হয় **যে স্থির উষ্ণতায় যে কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের চাপ এবং আয়তনের গুণফল ধ্রুবক। X-অক্ষের সমান্তরাল রেখাটি প্রমাণ করে যে স্থির তাপমাত্রায় কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের চাপ ও আয়তনের গুণফল, গ্যাসটির চাপের উপর নির্ভর করে না।**

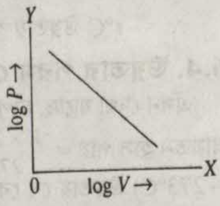
(ii) পরীক্ষা করে দেখা গেছে, নির্দিষ্ট উষ্ণতায়, একটি নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের উপর বিভিন্ন চাপ P_1, P_2, P_3 ইত্যাদি প্রয়োগ করে, বিভিন্ন চাপে গ্যাসটির যে বিভিন্ন আয়তন V_1, V_2, V_3 ইত্যাদি পাওয়া যায়, **চাপকে (P) X-অক্ষ এবং আয়তনকে (V) Y-অক্ষ** হিসাবে নিয়ে একটি গ্রাফ কাগজে বসালে যে লেখচিত্র পাওয়া যায় সেটি **সম-পরাবৃত্তাকার হয়** [চিত্র 6.3]। লেখচিত্রে পরিষ্কার দেখা যায় **যে চাপ বাড়ালে আয়তন কমে এবং চাপ কম হলে আয়তন বাড়ে** (উষ্ণতা স্থির)। বিভিন্ন উষ্ণতায় পরীক্ষাটি করলে দেখা যাবে বিভিন্ন উষ্ণতায় বিভিন্ন সম-পরাবৃত্তাকার লেখচিত্র পাওয়া যায়। স্থির উষ্ণতায় এই পরীক্ষা করা হয় বলে এইরকম P—V লেখচিত্রকে **সমোষ্ণ লেখ** (isothermal curve) বলে। লেখচিত্রটির প্রকৃতি বয়েলের সূত্রের সত্যতা প্রমাণ করে। (iii) এখন চাপকে Y-অক্ষে এবং $1/V$-কে X-অক্ষে ধরে লেখ আঁকলে একটি সরলরেখা পাওয়া যায় [চিত্র 6.4]।

● **বয়েলের সূত্রের প্রযোজ্যতা ঃ** যে কোনো গ্যাসের ক্ষেত্রে বয়েলের সূত্র প্রযোজ্য হলেও দেখা গেছে সব অবস্থায় সব গ্যাস বয়েলের সূত্রটি সঠিক মেনে চলে না। দেখা গেছে **উচ্চ উষ্ণতা এবং কম চাপেই গ্যাসগুলি বয়েল সূত্র মেনে চলে,** কিন্তু কম উষ্ণতা এবং বেশি চাপে গ্যাসগুলি বয়েলের সূত্রটি সঠিকভাবে মেনে চলে না। তার মানে খুব কম উষ্ণতায় এবং খুব বেশি চাপে গ্যাসগুলির আয়তন (V) এবং চাপ (P) এর গুণফল PV = ধ্রুবক হয় না। দেখা গেছে **শুধু হাইড্রোজেন গ্যাস খুব কম চাপে বয়েলের সূত্রটি কিছুটা মেনে চলে।** নিষ্ক্রিয় গ্যাসগুলিও মোটামুটি বয়েলের সূত্র মেনে চলে।



চিত্র 6.4

● **স্থির উষ্ণতায় আদর্শ গ্যাসের চাপের মানের লগ্যারিদমকে তার আয়তনের লগ্যারিদমের সাপেক্ষে লেখচিত্রে প্রকাশ ঃ** (i) আদর্শ গ্যাসের PV গুণফলের লগ্যারিদমকে স্থির উষ্ণতায় আয়তনের লগ্যারিদমের সাপেক্ষে প্রকাশ করলে লেখটির প্রকৃতি আগেরটি থেকে পৃথক হয়।

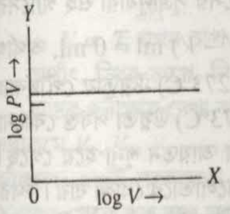


চিত্র 6.5

স্থির উষ্ণতায় বয়েলের সূত্রানুযায়ী পাই, $PV = K$ (ধ্রুবক) বা, $\log P + \log V = K$

বা, $\log P = -\log V + K$, সমীকরণটি $y = mx + C$ এর মতো, যেখানে $y = \log V$, $\log P = x$ এবং $K = C$ এখানে $m = -1$ (চিত্র 6.5)

সুতরাং লেখটি একটি সরল রেখা হবে যার slope −1।



চিত্র 6.6

(ii) স্থির উষ্ণতায় PV গুণফলের লগ্যারিদমকে আয়তনের লগ্যারিদমের সাপেক্ষে লেখ আঁকা হলে $\log PV$-এর পরিবর্তনের লেখটি V নির্দেশ অক্ষের সমান্তরাল হবে (চিত্র 6.6)।

● **গ্যাসের চাপ ও ঘনত্বের সম্পর্ক** (Relation between pressure and density of a gas) ঃ বয়েলের সূত্র প্রয়োগ করে স্থির উষ্ণতায় গ্যাসের **চাপ ও ঘনত্বের সম্পর্ক** নির্ণয় করা যায়।

ধরি, নির্দিষ্ট উষ্ণতায় কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের চাপ P_1 হলে আয়তন V_1 হয় এবং চাপ P_2 হলে আয়তন V_2 হয়।

বয়েলের সূত্র অনুযায়ী, $P_1V_1 = P_2V_2$ বা, $\frac{V_1}{V_2} = \frac{P_2}{P_1}$ … … … … (6.2)

এখন ধরা যাক, গ্যাসটির ভর $= M$ এবং P_1 চাপে গ্যাসটির ঘনত্ব D_1 এবং P_2 চাপে গ্যাসটির ঘনত্ব D_2

$\therefore D_1 = \frac{M}{V_1}$ এবং $D_2 = \frac{M}{V_2}$ বা, $V_1 = \frac{M}{D_1}$ এবং $V_2 = \frac{M}{D_2}$

V_1 এবং V_2-এর মান (6.2) নং সমীকরণে বসিয়ে—

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{P_2}{P_1} \quad \text{বা,} \quad \frac{\frac{M}{D_1}}{\frac{M}{D_2}} = \frac{P_2}{P_1} \quad \text{বা,} \quad \frac{D_2}{D_1} = \frac{P_2}{P_1} \quad \text{বা,} \quad \frac{D_1}{D_2} = \frac{P_1}{P_2} \quad \text{বা,} \quad \frac{P_1}{D_1} = \frac{P_2}{D_2} = K \text{ (ধ্রুবক)} \quad \ldots (6.3)$$

অর্থাৎ, $\frac{P}{D} = K$ বা, $P = KD$ বা, $P \propto D$

অর্থাৎ, **নির্দিষ্ট উষ্ণতায় নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের ঘনত্ব, চাপের সমানুপাতিক।**

6.3. গ্যাসের আয়তন ও উষ্ণতার সম্পর্ক—চার্লসের সূত্র [Volume-temperature relationship—Charle's law]

নির্দিষ্ট চাপে কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের উষ্ণতা বাড়ালে ওর আয়তন বেড়ে যাবে, আবার উষ্ণতা কমালে আয়তন কমে, তবে গ্যাসের বিশেষত্ব এই যে, স্থির চাপে একই উষ্ণতা বৃদ্ধিতে প্রত্যেক গ্যাসের নির্দিষ্ট ভরের আয়তন একই মাত্রায় বাড়ে, আবার একই উষ্ণতা হ্রাসে প্রত্যেক গ্যাসের আয়তন একই মাত্রায় কমে।

গ্যাসের উষ্ণতা পরিবর্তনের সঙ্গে সঙ্গে আয়তন পরিবর্তনের সম্পর্ক বিজ্ঞানী **চার্লস** 1787 সালে আবিষ্কার করেন। একেই চার্লসের সূত্র বলে।

● **চার্লসের সূত্র** (Charle's law) ঃ ***স্থির চাপে, প্রতি 1°C উষ্ণতার হ্রাস বা বৃদ্ধির জন্য যে কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন, 0°C উষ্ণতায় ওর যে আয়তন থাকে তার 1/273 অংশ হ্রাস বা বৃদ্ধি পায়।***

1/273 সংখ্যাটি হল **স্থির চাপে গ্যাসের আয়তন প্রসারণাঙ্ক**। সমস্ত গ্যাসই আয়তন বৃদ্ধিতে বা আয়তন হ্রাসে একই রকম আচরণ করে, তার মানে সব গ্যাসেরই আয়তন প্রসারণাঙ্ক সমান।

ধরি, নির্দিষ্ট চাপে 0°C উষ্ণতায় কোনো নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের আয়তন V ml এখন চাপের কোনো পরিবর্তন না করে যদি উষ্ণতার পরিবর্তন করা হয়, তবে চার্লসের সূত্রানুযায়ী—

1°C উষ্ণতা বৃদ্ধিতে গ্যাসটির আয়তন বৃদ্ধি $V/273$ হবে,

$\therefore$ 1°C উষ্ণতায় গ্যাসটির আয়তন $= \left(V + \frac{V}{273}\right) = V\left(1 + \frac{1}{273}\right)$ ml হবে।

t°C উষ্ণতা বৃদ্ধিতে গ্যাসের আয়তন বৃদ্ধি $Vt/273$

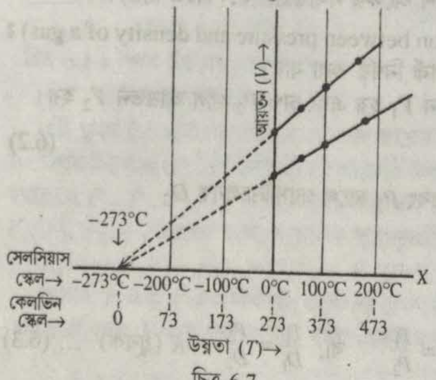
$\therefore$ t°C উষ্ণতায় গ্যাসটির আয়তন $= \left(V + \frac{Vt}{273}\right) = V\left(1 + \frac{t}{273}\right)$ ml

আবার, t^oC উষ্ণতা কমালে গ্যাসের আয়তন কমে $\frac{Vt}{273}$ ml

∴ $-t^oC$ উষ্ণতায় গ্যাসটির আয়তন $= \left(V - \frac{Vt}{273}\right) = V\left(1 - \frac{t}{273}\right)$ ml

6.4. উষ্ণতার পরম স্কেল ও পরম শূন্য [Absolute scale of temperature and absolute zero]

এখন দেখা যাচ্ছে, চাপ স্থির রেখে V ml কোনো গ্যাসের উষ্ণতা -273^oC-এ নিয়ে গেলে চার্লসের সূত্রানুযায়ী ওই গ্যাসের আয়তন হ্রাস পায় $= \frac{V \times 273}{273} = V$ ml . কাজেই (-273^oC) উষ্ণতায় ওই গ্যাসের আয়তন হবে $(V - V)$ ml = 0 ml, অর্থাৎ (-273^oC) উষ্ণতায় যে কোনো গ্যাসের আয়তন শূন্য হয়ে যাবে। কিন্তু বাস্তব ক্ষেত্রে দেখা যায় (-273^oC) উষ্ণতায় পৌঁছবার আগেই সব বাস্তব গ্যাসই তরল হয়ে যায়। কঠিন বা তরলের ক্ষেত্রে গ্যাস সূত্র প্রযোজ্য নয়। যদি (-273^oC) উষ্ণতা পর্যন্ত কোনো গ্যাস, গ্যাসীয় অবস্থায় থাকতো (আদর্শ গ্যাস), তাহলে দেখা যেত (-273^oC) উষ্ণতায় ওই গ্যাসের আয়তন শূন্য হয়ে গেছে।



চিত্র 6.7

লেখচিত্রের সাহায্যে (চিত্র 6.7) বিষয়টি ভালোভাবে বোঝা যায়। স্থির চাপে নির্দিষ্ট ভরের কোনো গ্যাসের আয়তন বিভিন্ন উষ্ণতায় (সেলসিয়াসে) পরিমাপ করে, উষ্ণতাকে (T) X-অক্ষে এবং আয়তনকে (V) Y-অক্ষে ধরে লেখচিত্র আঁকলে একটি সরলরেখা পাওয়া যায়। নির্দিষ্ট ভরের অপর একটি গ্যাসের ক্ষেত্রে অনুরূপভাবে লেখচিত্র অঙ্কন করলে পৃথক একটি সরলরেখা পাওয়া যায়। এই দুটি রেখাকে বাড়ালে দেখা যায় সরলরেখা দুটি -273^oC উষ্ণতায় (প্রকৃতমান $-273{\cdot}15^oC$) X-অক্ষকে ছেদ করে—অর্থাৎ আয়তন শূন্য হয়ে যায়। -273^oC এর কম উষ্ণতায় গ্যাসটির আয়তন (যদি তরলে পরিণত না হত) নেগেটিভ হয়ে যেত যা অসম্ভব। তাই **-273^oC উষ্ণতাকে পরম শূন্য বলা হয়।**

● **পরম শূন্য** (Absolute zero) **:** চার্লসের সূত্রানুযায়ী, ***স্থির চাপে, -273^oC উষ্ণতায়, যেকোনো গ্যাসের আয়তন শূন্য হয়ে যায় বলে এই উষ্ণতাকে পরম শূন্য (Absolute zero) বলে। মহাবিশ্বে এর চেয়ে কম উষ্ণতা কোথাও থাকতে পারে না।*** তাই -273^oC উষ্ণতাকে পরম শূন্য বলা হয়।

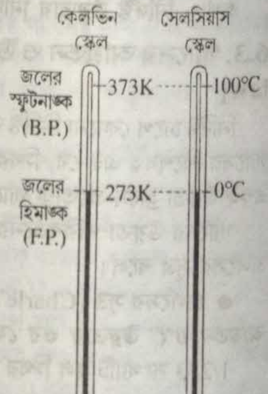
● **উষ্ণতার পরম স্কেল** (Absolute scale) **:** বিজ্ঞানী **কেলভিন** (Kelvin) তাপমাত্রার পরম উষ্ণতা স্কেল প্রচলন করেন। এই নতুন স্কেলকে **কেলভিন স্কেল** বলা হয় এবং উষ্ণতাকে K রূপে প্রকাশ করা হয়।

পরম শূন্য অর্থাৎ -273^oC উষ্ণতাকে শূন্য ধরে, উষ্ণতার প্রতি ডিগ্রি ব্যবধানকে যদি এক ডিগ্রি সেলসিয়াসের সমান করে মাপা হয়, তাহলে উষ্ণতার যে স্কেল পাওয়া যায় তাকে পরম স্কেল বা কেলভিন স্কেল বলা হয়।

এই স্কেলের উষ্ণতার পাঠ K চিহ্ন দ্বারা প্রকাশ করা হয়। এই স্কেল অনুযায়ী বরফের গলনাঙ্ক অর্থাৎ $0^oC = (273 + 0) = 273$ K.

$10^oC = (273 + 10) = 283$ K. জলের স্ফুটনাঙ্ক অর্থাৎ $100^oC = (273 + 100) = 373$ K।

পরম স্কেলে—পরম শূন্য অর্থাৎ $0\ K = -273^oC = -459^oF$.



চিত্র 6.8 : পরম উষ্ণতা স্কেল

● **পরম উষ্ণতা স্কেল এবং চার্লসের সূত্র :** ধরি, স্থির চাপে 0^oC উষ্ণতায় কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন = V ml, t_1^oC উষ্ণতায় আয়তন = V_1 ml এবং t_2^oC উষ্ণতায় গ্যাসটির আয়তন = V_2 ml.

চার্লসের সূত্রানুযায়ী, $V_1 = V\left(1 + \frac{t_1}{273}\right) = V\left(\frac{273 + t_1}{273}\right)$

এখন, $(273 + t_1) = T_1$ K ∴ $V_1 = V \times \frac{T_1}{273}$ (T_1 = পরম স্কেলে উষ্ণতা) ... ... (6.4)

অনুরূপে, $V_2 = V\left(1 + \frac{t_2}{273}\right) = V\left(\frac{273 + t_2}{273}\right)$

এখন, $(273 + t_2) = T_2$ K $\therefore V_2 = V \times \frac{T_2}{273}$ (T_2 = পরম স্কেলে উষ্ণতা) … … (6.5)

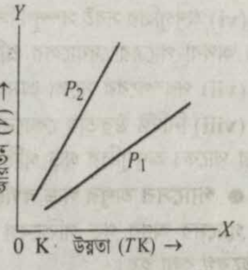
এখন, (6.4)-কে (6.5) দিয়ে ভাগ করে,

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{V \cdot \frac{T_1}{273}}{V \cdot \frac{T_2}{273}} \quad \text{বা,} \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad \text{বা,} \quad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \frac{V}{T} = K \text{ (ধ্রুবক)} \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.6)$$

$\therefore$ ***V ∝ T*, যখন চাপ স্থির।** এটি হল চার্লসের সূত্রের গাণিতিক রূপ।

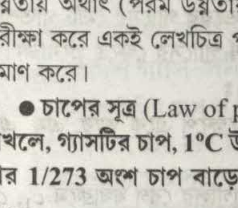
অর্থাৎ, স্থির চাপে, নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন পরম উষ্ণতার সমানুপাতিক হয়।

বাস্তব পরীক্ষায় দেখা যায়, **স্থির চাপে** T_1, T_2, T_3............ ইত্যাদি পরম উষ্ণতায় নির্দিষ্ট পরিমাণ কোনো গ্যাসের আয়তন, যথাক্রমে V_1, V_2, V_3.......... ইত্যাদি নির্ণয় করে, **আয়তনকে *Y* অক্ষ এবং পরম উষ্ণতাকে *X* অক্ষ** হিসাবে নিয়ে একটি লেখচিত্র আঁকলে, একটি সরলরেখা পাওয়া যায় (চিত্র 6.9) **উষ্ণতা যত বাড়ে, এই সরলরেখাটি *X*-অক্ষ থেকে তত দূরে সরে যায়। সরলরেখাটিকে *X*-অক্ষের দিকে বাড়ালে দেখা যাবে –273°C উষ্ণতায় বা 0 K উষ্ণতায় রেখাটি *X*-অক্ষকে স্পর্শ করে।** 0 K অর্থাৎ –273°C উষ্ণতায় অর্থাৎ (পরম উষ্ণতায়) যে-কোনো গ্যাসের আয়তন শূন্য হয়ে যাবে। সব গ্যাস পরীক্ষা করে একই লেখচিত্র পাওয়া যায়। লেখচিত্রের এই প্রকৃতি চার্লসের সূত্রের সত্যতা প্রমাণ করে।



চিত্র 6.9 : আয়তন ও উষ্ণতা সম্পর্কিত লেখ।

● **চাপের সূত্র** (Law of pressure) **: কোনো নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের আয়তন স্থির রাখলে, গ্যাসটির চাপ, 1°C উষ্ণতা বৃদ্ধি বা হ্রাসের জন্য 0°C উষ্ণতায় ওর যে চাপ থাকে, তার 1/273 অংশে চাপ বাড়ে বা কমে।**



চিত্র 6.10 : চাপ ও পরম উষ্ণতা সম্পর্কিত লেখ।

এই সূত্র থেকেই পাওয়া যায় আয়তন স্থির থাকলে, **কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের চাপ, ওর পরম উষ্ণতার সমানুপাতিক হয়।**

ধরি, T_1 K উষ্ণতায় একটি নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের চাপ = P_1 এবং T_2 K উষ্ণতায় চাপ = P_2,

তাহলে $\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$ হবে যখন গ্যাসের ভর ও আয়তন স্থির।

আয়তন স্থির রেখে নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের চাপ P_1, P_2, P_3..... ইত্যাদি বিভিন্ন T_1, T_2, T_3 ইত্যাদি পরম উষ্ণতায় যা হয় সেগুলি নিয়ে পরম উষ্ণতাকে *X* অক্ষ ধরে এবং চাপকে *Y* অক্ষ ধরে লেখচিত্র আঁকলে একটি সরলরেখা পাওয়া যাবে। দুটি বিভিন্ন স্থির আয়তনে, চাপ ও উষ্ণতার লেখচিত্র (চিত্র 6.10) দেখানো হল। $V_2 > V_1$.

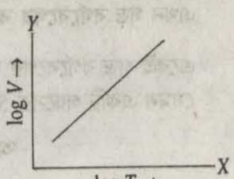
দুটি ভিন্ন স্থির চাপে (P_1 এবং P_2) **উষ্ণতা-আয়তন সম্পর্কিত লেখচিত্র** (চিত্র : 6.9) **দেখানো হল।** $P_1 > P_2$

● **চার্লসের সূত্রটির লগ্যারিদমের লেখ**—চার্লসের সূত্রানুযায়ী—$V/T = K$

বা $\log V - \log T = K$ বা $\log V = \log T + K$

সমীকরণটি $y = mx + c$ এর অনুরূপ যেখানে $m = +1$ হবে।

অর্থাৎ slope = + 1. সুতরাং log *V* vs log *T*-এর লেখটি চিত্র 6.11 এর মতো হবে।



চিত্র 6.11

6.5. গ্যাসের গতীয় তত্ত্ব [Kinetic theory of gases]

গ্যাস মাত্রই সংকোচনশীল। গ্যাসের সম্প্রসারণশীলতা অসীম—দেখা গেছে উষ্ণতা স্থির রেখে গ্যাসের চাপ কমাতে থাকলে গ্যাসের আয়তন সীমাহীনভাবে বেড়ে যায়। রাসায়নিক বিক্রিয়া না হলে বিভিন্ন গ্যাস পরস্পরের সংস্পর্শে এলে পরস্পরের মধ্যে দ্রুত ব্যাপিত হয়ে যায়। গ্যাসের এই আচরণগুলি দেখে স্বভাবতই এই সিদ্ধান্তে আসা যায় যে গ্যাসের অণুগুলি কখনো স্থির থাকে না—অণুগুলি সর্বদা দ্রুতবেগে ইতস্তত ঘুরে বেড়ায়—অণুগুলির এই গতি চিরকাল অব্যাহত থাকে। বিজ্ঞানী ক্লসিয়াস, বোলৎম্যান, ম্যাক্সওয়েল গ্যাসের বিভিন্ন আচরণ ব্যাখ্যা করার জন্য গ্যাসের গতীয় তত্ত্বের অবতারণা করেন। গ্যাসের গতীয় তত্ত্ব কতকগুলি মূল স্বীকার্যের উপর নির্ভর করে।

● **গ্যাসের গতীয় তত্ত্বের মূল স্বীকার্য** (Postulates of Kinetic theory of gases) **:**

(i) সব গ্যাসই বিপুল সংখ্যক অতি ক্ষুদ্র পৃথক গোলকাকার কণা দ্বারা গঠিত—এদের গ্যাসীয় অণু বলা হয়। একই গ্যাসের সব অণুগুলির ভর এবং আকার একরকম।

(ii) গ্যাসের অণুগুলিকে বিন্দু ভর হিসাবে ধরা হয়। গ্যাসীয় অণুগুলির মধ্যে আন্তরাণবিক দূরত্ব খুব বেশি হওয়ার জন্য সমগ্র গ্যাসের আয়তনের তুলনায় অণুগুলির মোট আয়তন একেবারে নগণ্য হয়।

(iii) গ্যাসের অণুগুলি সব সময় গতিশীল অবস্থায় থাকে এবং ওদের গতিবেগ সব দিকে প্রসারিত হয়। অণুগুলি সরলরেখায় চলে এবং ওদের বেগ শূন্য থেকে অসীম পর্যন্ত যে কোনো মানের হতে পারে।

(iv) অণুগুলি দ্রুতবেগে চলার ফলে পরস্পরের সঙ্গে কিংবা পাত্রের দেয়ালের সঙ্গে ধাক্কা খায়। প্রতি দুটি ধাক্কার মাঝের দূরত্বকে **মুক্ত পথ** (free path) বলে। পর পর ধাক্কাগুলির মাঝে গ্যাসের অণু যে গড় দূরত্ব অতিক্রম করে তাকে **গড় মুক্তপথ** (mean free path) বলে।

(v) যে সময় ধরে ধাক্কা ঘটে, মুক্ত পথ অতিক্রম করার সময়ের তুলনায় তা নগণ্য। ধাক্কাগুলি সবই তাৎক্ষণিক। পাত্রের দেয়ালের সঙ্গে গ্যাসের অণুর ধাক্কার ফলেই গ্যাসের চাপের সৃষ্টি হয়। ধাক্কার সংখ্যা যত বেশি হয় গ্যাসের চাপও তত বাড়ে।

(vi) অণুগুলির সবই সম্পূর্ণ স্থিতিস্থাপক, তাই পরস্পরের সঙ্গে ধাক্কায় অণুগলির গতিশক্তি হ্রাস পায় না। অণুগুলি পরস্পরের প্রতি অথবা পাত্রের দেয়ালের প্রতি আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল প্রয়োগ করে না—তাই অণুগুলির শক্তি হল সম্পূর্ণরূপে গতিশক্তি।

(vii) পরস্পরের সঙ্গে অনবরত ধাক্কা খেলেও, স্থিতাবস্থায় একক আয়তনে অণুর সংখ্যা অপরিবর্তিত থাকে।

(viii) নির্দিষ্ট উষ্ণতায় কোনো অণুর গড় গতিশক্তি নির্দিষ্ট থাকে। ফলে নির্দিষ্ট উয়তায় নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের মোট গতিশক্তি স্থির থাকে। অণুগুলির গড় গতিশক্তি পরম উষ্ণতার সমানুপাতিক হয়। এই স্বীকার্যগুলি শুধু আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য।

● **গ্যাসের অণুর গড় বর্গবেগের বর্গমূল** (Root Mean Square Velocity বা R.M.S.V) **ঃ**

গ্যাসের অণুর গড় গতিবেগ বলতে আসলে অণুগুলির গড় বর্গবেগের বর্গমূল বোঝায়। সংক্ষেপে একে ***আর. এম. এস. গতিবেগ*** বলা হয়।

ধরি, একটি আবদ্ধ পাত্রে একটি গ্যাসের n সংখ্যক অণু আছে। নির্দিষ্ট চাপ এবং উষ্ণতায় অণুগুলির বেগ যথাক্রমে c_1, c_2, $c_3 \ldots\ldots c_n$. এই অবস্থায় অণুগুলির গড় বেগ = $\bar{c}$ হলে

$$\bar{c} = \frac{c_1 + c_2 + c_3 + \text{L} + c_n}{n}$$

এখন প্রতি অণুর বেগের বর্গ নিয়ে, বর্গগুলির গড় বের করলে বর্গবেগের গড় অর্থাৎ গড় বর্গ বেগ পাওয়া যায়। সুতরাং অণুগুলির বর্গবেগগুলির গড় = $\bar{c^2}$ হলে

$$\bar{c^2} = \frac{c_1^2 + c_2^2 + c_3^2 + \text{L} + c_n^2}{n}$$

এখন গড় বর্গবেগের বর্গমূল = c হলে, $c = \sqrt{\bar{c^2}} = \sqrt{\dfrac{c_1 + c_2^2 + c_3^2 + \text{L} + c_n^2}{n}}$,

একেই গড় বর্গবেগের বর্গমূল (root mean square velocity) বলা হয়। মনে রাখতে হবে c এবং $\bar{c}$ এক নয়।

যেমন একটি গ্যাসের 5টি অণুর গতিবেগ যথাক্রমে 1, 2, 3, 4 এবং 5 হলে,

অণুগুলির গড় গতিবেগ $= \bar{c} = \dfrac{1+2+3+4+5}{5} = 3$ একক সে$^{-1}$

গড় গতিবেগের বর্গ $= (\bar{c})^2 = 3^2 = 9$

অণুগুলির বর্গবেগের গড় $= \bar{c^2} = \dfrac{1^2 + 2^2 + 3^2 + 4^2 + 5^2}{5} = 11$ একক

দেখা যাচ্ছে $\bar{c}^2$ এবং $\bar{c^2}$ সমান নয় সুতরাং $\bar{c}$ এবং c পরস্পরের সমান নয়।

● **বয়েলের সূত্র এবং চার্লসের সূত্রের সমন্বয়** (Combination of Boyle's law and Charle's law) **ঃ**

বয়েলের সূত্র থেকে পাওয়া যায় যে, **কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের উষ্ণতা স্থির থাকলে গ্যাসের আয়তন, চাপের বিপরীত অনুপাতে পরিবর্তিত হয়।** আবার **চার্লসের সূত্র** থেকে পাওয়া যায়, যে **কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের চাপ স্থির থাকলে, গ্যাসের আয়তন পরম উষ্ণতার সমানুপাতে পরিবর্তিত হয়।** এখন চাপ ও উষ্ণতা যদি স্থির না থেকে উভয়ই পরিবর্তিত হয়, তাহলে গ্যাসের আয়তন কী হবে—উষ্ণতা, চাপ এবং আয়তন সংযুক্ত সমীকরণ থেকে তা পাওয়া যাবে।

ধরা যাক, T K পরম উষ্ণতায় এবং P চাপে কোনো নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের আয়তন = V

বয়েলের সূত্রানুযায়ী, উষ্ণতা (T) স্থির থাকলে কোনো নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের আয়তন (V), চাপের (P) ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তিত হয়, অর্থাৎ, $V \propto \frac{1}{P}$, যখন উষ্ণতা T স্থির।

আবার **চার্লসের সূত্রানুযায়ী** চাপ (P) স্থির থাকলে, নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের আয়তন (V), পরম উষ্ণতার (T) সমানুপাতিক হয়। অর্থাৎ, $V \propto T$ যখন চাপ P স্থির।

এখন চাপ (P) এবং উষ্ণতা (T) যদি উভয়ই পরিবর্তিত হয়, তবে

$$V \propto \frac{T}{P} \quad \text{বা, } V = \frac{KT}{P} \quad (K \text{ ধ্রুবক}) \quad \text{বা, } \frac{PV}{T} = K \text{ (ধ্রুবক)}$$

এখন ধরি, নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের আয়তন V পরিবর্তিত হয় V_1 ও V_2 আয়তনে, P চাপ পরিবর্তিত হয় P_1 ও P_2 চাপে এবং T উষ্ণতা পরিবর্তিত হয় T_1 ও T_2 উষ্ণতায়; সুতরাং, V, P এবং T—এই তিন অবস্থার পরিবর্তনে পাওয়া যায়—

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = K, \quad \frac{P_2V_2}{T_2} = K$$

অর্থাৎ, $$\frac{PV}{T} = \frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} = \frac{P_nV_n}{T_n} = K \text{ [ধ্রুবক]} \quad [n \text{ যে-কোনো সংখ্যা}]$$

সুতরাং, $$\frac{PV}{T} = K \quad \text{অথবা, } PV = KT \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.7)$$

অর্থাৎ, **কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের চাপ ও আয়তনের গুণফল পরম উষ্ণতার সমানুপাতিক**। এই সমীকরণটিকে গ্যাসের **অবস্থার সমীকরণ** বলে। এই সমীকরণ থেকে কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের চাপ, আয়তন এবং উষ্ণতার মধ্যে সম্পর্ক পাওয়া যায়।

6.6. আদর্শ গ্যাস-সমীকরণ [Ideal gas equation]

কোনো নির্দিষ্ট চাপ ও উষ্ণতায়, **কোনো গ্যাসের আয়তন, গ্যাসের পরিমাণের সমানুপাতিক হয়**। কাজেই গ্যাসের পরিমাণের উপর ধ্রুবক K-এর মান নির্ভর করে।

অ্যাভোগাড্রোর সূত্র অনুযায়ী (i) **একই উষ্ণতায় ও চাপে সমআয়তন সব গ্যাসে সমান সংখ্যক অণু (বা মোল) বর্তমান থাকে।**

(ii) **প্রমাণ উষ্ণতায় ও চাপে সমস্ত গ্যাসের এক গ্রাম-মোলের আয়তন সমান হয়** (22·4 litre)। **সুতরাং এক গ্রাম-মোল পরিমাণ সমস্ত গ্যাসের ক্ষেত্রেই K-এর মান একই হয়, তাই এক গ্রাম-মোল পরিমাণ যে-কোনো গ্যাসের জন্য K-এর মানকে R দ্বারা প্রকাশ করা হয়। R-কে গ্রাম-আণবিক বা মোলার গ্যাস-ধ্রুবক** (Molar gas constant) **বলা হয়। R-এর মান গ্যাসের ধর্ম বা প্রকৃতির উপর নির্ভর করে না। এর মান সব গ্যাসের ক্ষেত্রে একই হয়, তাই একে সার্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক** (Universal gas constant) **বলে।**

কাজেই গ্যাসের $PV = KT$-সমীকরণটিকে

$PV = RT$ রূপে **প্রকাশ** করা যায়, যেখানে V = এক গ্রাম অণু গ্যাসের আয়তন, P = গ্যাসের চাপ, T = পরম উষ্ণতা।

এই সমীকরণকে **অবস্থার সমীকরণ** (Equation of state) বলে এবং সমস্ত আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে অর্থাৎ যে গ্যাসগুলি বয়েল এবং চার্লসের সূত্র মেনে চলে, তাদের ক্ষেত্রে এই সমীকরণ প্রযোজ্য।

$PV = RT$ সমীকরণটি এক গ্রাম-মোল আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য।

● **$PV = = nRT$ সমীকরণটির প্রতিষ্ঠা** ঃ যদি n-গ্রাম-মোল গ্যাস থাকে, তাহলে অবস্থা সমীকরণটিকে $PV = nRT$ রূপে প্রকাশ করা হয়। **বয়েল ও চার্লসের সূত্রের সঙ্গে অ্যাভোগাড্রো সূত্র একত্র করলে $PV = nRT$ সমীকরণটি পাওয়া যায়।**

এখন, V = নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন, P = গ্যাসের চাপ, n = গ্যাসের গ্রাম-অণুর সংখ্যা অর্থাৎ মোল সংখ্যা হলে,

বয়েলের সূত্র থেকে, $V \propto \frac{1}{P}$, যখন n এবং T স্থির,

চার্লসের সূত্র থেকে, $V \propto T$, যখন n এবং P স্থির,

অ্যাভোগাড্রোর সূত্র থেকে পাই, $V \propto n$, যখন P এবং T স্থির,

সুতরাং $V = \propto \frac{nT}{P}$, যখন, n, T এবং P সকলেই পরিবর্তিত হয়।

বা, $V = \frac{nRT}{P}$ (R ধ্রুবক) বা, $\boxed{PV = nRT}$ ... ... (6.8)

একে **আদর্শ গ্যাস সমীকরণ** বলে।

যে সমস্ত গ্যাস $PV = nRT$ সমীকরণটি মেনে চলে, তাদের আদর্শ গ্যাস (Ideal gas) **বলে। যেসব গ্যাস এই সমীকরণটি সঠিক মানে না তাদের বাস্তব গ্যাস** (Real gas) **বলে।** সাধারণভাবে কোনো বাস্তব গ্যাসই সঠিকভাবে এই সমীকরণটি মানে না।

● **অবস্থায় সমীকরণ থেকে গ্যাসের আণবিক ওজন নির্ণয় ঃ**

ধরি, গৃহীত গ্যাসের ওজন = Wg এবং গ্যাসটির আণবিক গুরুত্ব = M.

অতএব গৃহীত গ্যাসের মোল সংখ্যা = $\frac{W}{M}$. এখন অবস্থার সমীকরণে পাওয়া যায় $PV = nRT$.

এখানে P = গ্যাসের চাপ, V = আয়তন, n = মোল সংখ্যা $\frac{W}{M}$, R = মোলার গ্যাস ধ্রুবক, T = পরম উষ্ণতা, এই মানগুলি অবস্থার সমীকরণে বসালে,

$$\boxed{PV = \frac{W}{M}RT} \quad \text{বা,} \quad \boxed{(\text{আণবিক ওজন})\ M = \frac{WRT}{PV}} \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.9)$$

সুতরাং W, R, T, P, V জানা থাকলে গ্যাসের আণবিক ওজন সহজে নির্ণয় করা যায়।

এখন প্রদত্ত চাপ ও উষ্ণতায় গ্যাসটির ঘনত্ব = d হলে যেহেতু $W/V = d$ সুতরাং আমরা পাই— $\boxed{M = dRT/P}$

● **আণব গ্যাস ধ্রুবক বা গ্রাম আণবিক গ্যাস ধ্রুবক (Molar gas constant) R-এর তাৎপর্য ঃ**

আণব গ্যাস ধ্রুবক R-কে নিম্নলিখিতভাবে প্রকাশ করা যায়—

$$R = \frac{PV}{nT} = \frac{\text{চাপ} \times \text{আয়তন}}{\text{মোল সংখ্যা} \times \text{পরম উষ্ণতা}}, \qquad \text{এখন চাপ } P = \frac{\text{বল}}{\text{ক্ষেত্রফল}} = \frac{\text{বল}}{(\text{দৈর্ঘ্য})^2}$$

আয়তন $V = (\text{দৈর্ঘ্য})^3$, n = মোল সংখ্যা, পরম উষ্ণতা = TK

$$\text{সুতরাং } R = \frac{\left(\frac{\text{বল}}{\text{ক্ষেত্রফল}}\right) \times (\text{দৈর্ঘ্য})^3}{\text{মোল সংখ্যা} \times K} = \frac{\frac{\text{বল}}{(\text{দৈর্ঘ্য})^2} \times (\text{দৈর্ঘ্য})^3}{\text{মোল সংখ্যা} \times K} = \frac{\text{বল} \times \text{দৈর্ঘ্য}}{\text{মোল সংখ্যা} \times K} = \frac{\text{শক্তি}}{\text{মোল সংখ্যা} \times K}$$

অর্থাৎ, আণব গ্যাস ধ্রুবক R-এর পরিমাপ হল শক্তি মোল$^{-1}$K^{-1}।

অর্থাৎ এক মোল গ্যাসের উষ্ণতা 1K বাড়ালে বা কমালে শক্তির যে পরিবর্তন ঘটে R তাই প্রকাশ করে। অন্যভাবে বলা যায়, গ্যাসের উষ্ণতা 1°C বাড়ালে 1 মোল গ্যাস থেকে যে পরিমাণ কার্য সম্পাদিত হয় R তাই নির্দেশ করে।

● **বিভিন্ন এককে গ্রাম আণবিক গ্যাস ধ্রুবক R-এর মান ঃ**

শক্তিকে বিভিন্ন এককে (unit) প্রকাশ করা যায়, আবার বিভিন্ন এককের মানও বিভিন্ন, তাই R-এর মান বিভিন্ন এককে বিভিন্ন হবে, যদিও R-একটি ধ্রুবক।

(a) C.G.S. এবং S.I. এককে R-এর মান ঃ

বাস্তব পরীক্ষায় দেখা গেছে এক গ্রামমোল সব গ্যাসের আয়তন S.T.P.-তে 22·4 litre অর্থাৎ 22400 ml হয়।

প্রমাণ চাপ P = 76 cm পারদস্তম্ভের চাপের সমান, পরম উষ্ণতা T = 0°C = 273 K

0°C উষ্ণতার পারদের ঘনত্ব = 13·595 g/cm^3, C.G.S. পদ্ধতিতে অভিকর্ষজ ত্বরণ g = 980·7 cm/s^2

P = 76 cm পারদস্তম্ভের চাপ = 76 × 13·595 × 980·7 dyne cm^{-2}

$$R = \frac{PV}{T} = \frac{76 \times 13{\cdot}595 \times 980{\cdot}7 \text{ dyne cm}^{-2} \times 22400 \text{ cm}^3\text{mol}^{-1}}{273K} \quad \text{বা, } \mathbf{R = 8{\cdot}314 \times 10^7 \text{ dyne cm mol}^{-1}\text{K}^{-1}}$$

এখন যেহেতু dyne cm = erg, $R = 8{\cdot}314 \times 10^7$ erg mol^{-1}K^{-1}, বা, $\mathbf{R = 8{\cdot}314 \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1}}$

(b) লিটার অ্যাটমোস্ফিয়ারে R-এর মান ঃ P = 1 atm, V = 22·4 litre mol^{-1}, T = 273 K

$$R = \frac{PV}{T} = \frac{1 \text{ atm} \times 22{\cdot}4 \text{ L mol}^{-1}}{273 \text{ K}} = \mathbf{0{\cdot}082 \text{ litre atm mol}^{-1}\text{K}^{-1}} \text{ বা, } \mathbf{R = 0{\cdot}082 \text{ litre atm mol}^{-1}\text{K}^{-1}}$$

(c) ক্যালরিতে R-এর মান ঃ $R = 8{\cdot}314 \times 10^7$ erg mol^{-1}K^{-1} 1 calorie = 4·183 × 10^7 erg

$$\text{সুতরাং } R = \frac{8{\cdot}314 \times 10^7}{4{\cdot}183 \times 10^7} \quad \text{বা, } \mathbf{R = 1{\cdot}987 \text{ calorie mol}^{-1}\text{K}^{-1}}$$

(d) এস. আই. এককে R-এর মান ঃ চাপ P-কে প্যাস্কাল (pa) বা নিউটন/মিটার^2 (N/m^2) (1 প্যাস্কাল = 1 N/m^2) আয়তন V-কে m^3-এবং উষ্ণতাকে কেলভিন K এককে প্রকাশ করা হয়। প্রমাণ চাপ ও উষ্ণতায় 1 মোল যে-কোনো গ্যাসের আয়তন 22·4 × 10^{-3} m^3. সুতরাং এই অবস্থায় P = 101325 Nm^{-2}, V = 22·4 × 10^{-3} m^3 mol^{-1}, T = 273 K.

$$\therefore R = \frac{PV}{T} = \frac{101325 \text{ Nm}^{-2} \times 22{\cdot}4 \times 10^{-3}\text{m}^3 \text{ mol}^{-1}}{273 \text{ K}} = 8{\cdot}314 \text{ Nm}^{-2} \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \; \mathbf{R = 8{\cdot}314 \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1}}$$

● **বিভিন্ন এককে R-এর মান ঃ**
(i) **C.G.S. এককে—$8{\cdot}314 \times 10^7$ erg $mol^{-1}K^{-1}$**, (ii) **লিটার অ্যাটমোস্ফিয়ারে—$0{\cdot}082$ litre atm $mol^{-1}K^{-1}$**,
(iii) ক্যালোরিতে— **$1{\cdot}987$ calorie $mol^{-1}K^{-1}$**, (iv) **S.I. এককে— $8{\cdot}314$ Joule $mol^{-1}K^{-1}$.**

6.7. গ্যাসের আংশিক চাপ এবং ডালটনের আংশিক চাপ সূত্র [Partial pressure of gas and Dalton's law of partial pressure]

উষ্ণতা স্থির থাকলে, চাপের প্রভাবে নির্দিষ্ট পরিমাণ একটিমাত্র গ্যাসের আয়তন কীভাবে পরিবর্তিত হয়, বিজ্ঞানী বয়েল, তার সূত্র দ্বারা তা প্রকাশ করেন।

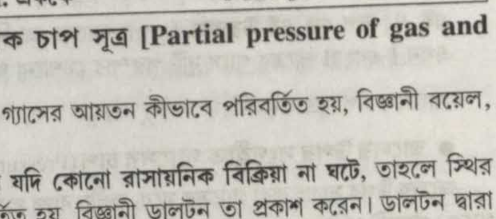
যদি একাধিক গ্যাস পরস্পর মিশে থাকে এবং গ্যাসগুলির মধ্যে যদি কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়া না ঘটে, তাহলে স্থির উষ্ণতায় এই মিশ্র গ্যাসের আয়তন, চাপের প্রভাবে কীভাবে পরিবর্তিত হয়, বিজ্ঞানী ডালটন তা প্রকাশ করেন। ডালটন দ্বারা প্রকাশিত এই সূত্রটি **গ্যাসের আংশিক চাপ-সূত্র** (Law of partial pressure) নামে পরিচিত।

● **গ্যাসের আংশিক চাপ বা অংশপ্রেষ** (Partial pressure of gas) **ঃ নির্দিষ্ট উষ্ণতায় একটি পাত্রে আবদ্ধ গ্যাস-মিশ্রণের কোনো একটি উপাদান গ্যাসকে যদি এককভাবে ওই উষ্ণতায় ওই পাত্রে রাখা হয়, তাহলে ওই গ্যাসটি এককভাবে ওই পাত্রে যে চাপ সৃষ্টি করে, তাকেই ওই উষ্ণতায় গ্যাসটির আংশিক চাপ বা অংশপ্রেষ বলে।**

● **আংশিক চাপ-সূত্র ঃ পরস্পর রাসায়নিক বিক্রিয়া করে না এরকম দুই বা ততোধিক গ্যাস যদি কোনো নির্দিষ্ট আয়তনে অর্থাৎ কোনো আবদ্ধ পাত্রের মধ্যে একসঙ্গে মেশানো অবস্থায় রাখা হয়, তাহলে উষ্ণতা স্থির থাকলে ওই গ্যাস মিশ্রণের চাপ, ওর উপাদান গ্যাসগুলির প্রত্যেকটির আংশিক চাপের** (Partial Pressure) **যোগফলের সমান হবে।**

অর্থাৎ, **নির্দিষ্ট উষ্ণতায়, নির্দিষ্ট আয়তনে মিশ্র গ্যাসের চাপ = বিভিন্ন উপাদান গ্যাসগুলির আংশিক চাপের যোগফল।**

তিনটি গ্যাসকে একটি পাত্রে পৃথকভাবে রাখলে ধরি পৃথকভাবে ওদের চাপ যথাক্রমে P_1, P_2 এবং P_3 হয়। এখন ওই তিনটি গ্যাসকে ওই একই পাত্রে একসঙ্গে মিশিয়ে রাখলে, ওই মিশ্র গ্যাসের চাপ $P = P_1 + P_2 + P_3$ হবে।



চিত্র 6.12

স্থির উষ্ণতায়, কোনো নির্দিষ্ট আয়তনে বিভিন্ন গ্যাসের চাপ যথাক্রমে $P_1, P_2, P_3 \ldots\ldots\ldots P_n$ হয় এবং সেই উষ্ণতায় ও ওই আয়তনে গ্যাসগুলির মিশ্রণের চাপ P হলে, গ্যাস মিশ্রণের চাপ $P = P_1 + P_2 + P_3 + \ldots + P_n$ হবে।

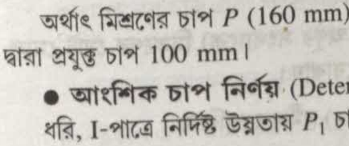
পরীক্ষা ঃ তিনটি সমআয়তন পাত্র নেওয়া হল। পাত্রগুলি একই উষ্ণতায় 27°C (27 + 273 = 300 K) রাখা আছে। প্রত্যেকটি পাত্রের সঙ্গে চাপ মাপার জন্য একটি করে ম্যানোমিটার (চাপ মাপার যন্ত্র) যুক্ত আছে। প্রথম পাত্রে কিছু পরিমাণ হাইড্রোজেন ভর্তি করে দেখা গেল H_2 গ্যাস দ্বারা প্রযুক্ত চাপ = 60 mm হয়।

দ্বিতীয় পাত্রটিতে কিছু পরিমাণ অক্সিজেন গ্যাস ভর্তি করে দেখা গেল অক্সিজেন গ্যাস দ্বারা প্রযুক্ত চাপ = 100 mm হয়।

এখন একই উষ্ণতায়, তৃতীয় পাত্রটিতে পূর্বের পরিমাণ হাইড্রোজেন এবং পূর্বের পরিমাণ অক্সিজেন ভর্তি করা হল। এখন দেখা গেল যে গ্যাস মিশ্রণটির চাপ = 60 + 100 = 160 mm হয়।

অর্থাৎ মিশ্রণের চাপ P (160 mm) = ওই পাত্রে একক ভাবে H_2 দ্বারা প্রযুক্ত চাপ 60 mm + ওই পাত্রে একক ভাবে O_2 দ্বারা প্রযুক্ত চাপ 100 mm।

● **আংশিক চাপ নির্ণয়** (Determination of partial pressure) **ঃ**
ধরি, I-পাত্রে নির্দিষ্ট উষ্ণতায় P_1 চাপে V_1 ml (A) গ্যাস আছে [চিত্র 6.9]।



চিত্র 6.13

এখন মনে করা যাক, II পাত্রটি শূন্য এবং II পাত্রটির আয়তন ওই উষ্ণতায় V_2 ml, এই অবস্থায় I এবং II পাত্রের পরস্পর সংযোগ করলে I পাত্রের P_1 চাপে V_1 ml A গ্যাস II পাত্রটিকেও পূর্ণ করবে, ফলে V_1 ml গ্যাসের আয়তন বেড়ে $(V_1 + V_2)$ ml হবে। ধরি, এই নতুন আয়তনে A গ্যাসটির চাপ P_A, এখন বয়েলের সূত্রানুযায়ী,

$P_1V_1 = P_A(V_1 + V_2)$ বা, $P_A = P_1V_1/(V_1 + V_2)$

P_A চাপ হল ওই উষ্ণতায় V_1 মিলি গ্যাসের আংশিক চাপ।

আবার মনে করা যাক, I পাত্রটি শূন্য এবং II পাত্রে ওই একই উষ্ণতায় P_2 চাপে V_2 ml B গ্যাস আছে। এই অবস্থায় I এবং

II পাত্রের মধ্যে সংযোগ করে P_2 চাপে V_2 ml B গ্যাস দ্বারা, I পাত্রটিও ভর্তি করা হল। সুতরাং V_2 ml গ্যাসের আয়তন বেড়ে $(V_1 + V_2)$ ml হল। এই অবস্থায় গ্যাসটির চাপ ধরা যাক, P_B।

সুতরাং বয়েলের সূত্রানুযায়ী, $P_2 \times V_2 = P_B(V_1 + V_2)$ বা, $P_B = \frac{P_2V_2}{V_1 + V_2}$

এই P_B চাপ হল ওই উষ্ণতায় V_2 ml গ্যাসের আংশিক চাপ।

এখন I এবং II পাত্রের গ্যাস দুটি পরস্পর মেশানো থাকলে, ধরা যাক, মিশ্র গ্যাসের চাপ = P

আংশিক চাপ-সূত্র অনুযায়ী, $P = P_A + P_B$ বা, $P = \frac{P_1V_1}{V_1 + V_2} + \frac{P_2V_2}{V_1 + V_2}$ অর্থাৎ, $P = \frac{P_1V_1 + P_2V_2}{V_1 + V_2}$ ... (6.10)

● **জলের উপর সংগৃহীত গ্যাসের চাপ** (Pressure of gas collected on water) :

জলের উপর সংগ্রহ করা গ্যাসের মধ্যে জলীয় বাষ্প থাকে। সাধারণভাবে ঘরের উষ্ণতায় ওই গ্যাসটি জলীয় বাষ্প দ্বারা সম্পৃক্ত থাকে। গ্যাসটি সংগ্রহ করার সময় গ্যাসজারের ভিতরের জলতল এবং বাইরের জলতল একই তলে এনে গ্যাসটির আয়তন-পাঠ নেওয়া হয়। কারণ এই অবস্থায় গ্যাসজারের মধ্যস্থ আর্দ্র গ্যাসের চাপ, বায়ুর চাপের সমান হয়।

এখন ঘরের উষ্ণতায়, শুষ্ক গ্যাসের চাপ = P_1, সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পচাপ = f এবং বায়ুর চাপ = P হলে, ডালটনের আংশিক চাপ-সূত্র থেকে পাওয়া যায়, $P = P_1 + f$ বা, $P_1 = P - f$

অর্থাৎ, শুষ্ক গ্যাসের চাপ = বায়ুর চাপ − জলীয় বাষ্পচাপ।

● **আংশিক চাপের সঙ্গে মোল-ভগ্নাংশের সম্পর্ক** (Relation between partial pressure and mole fraction) :

ধরি, V আয়তনের একটি পাত্রের মধ্যে অনেকগুলি গ্যাসের মিশ্রণ আছে। মিশ্রণের প্রতিটি গ্যাস, এককভাবে ওই V আয়তন পাত্রে থাকলে, ধরা যাক উপাদান গ্যাসগুলির আংশিক চাপ যথাক্রমে $P_1, P_2, P_3 ....P_n$ এবং গ্যাসগুলির মোলের সংখ্যা যথাক্রমে $n_1, n_2, n_3.........n_n$ হয়।

তাহলে প্রতিটি গ্যাসের ক্ষেত্রে গ্যাস সমীকরণকে নীচের মতো প্রকাশ করা যায়—

$P_1V = n_1RT$ ... ... (i) $\qquad P_3V = n_3RT$ ... ... (iii)

$P_2V = n_2RT$ ... ... (ii) $\qquad P_nV = n_nRT$ ... ... (iv)

ডালটনের অংশপ্রেষ সূত্র থেকে পাই—গ্যাস মিশ্রণের মোট চাপ = P হলে, $P = P_1 + P_2 + P_3 + \dots \dots + P_n$

গ্যাস মিশ্রণের মোট মোল সংখ্যা = n হলে, $n = n_1 + n_2 + n_3 + \dots \dots + n_n$

গ্যাস মিশ্রণের চাপ = P, আয়তন = V মোল সংখ্যা = n

∴ গ্যাস মিশ্রণটির ক্ষেত্রে গ্যাস সমীকরণটি—

$(P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n)V = (n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_n)RT$ হবে বা, $PV = nRT$ ... ... (v)

এখন (i) সমীকরণকে (v) দ্বারা ভাগ করে পাওয়া যায়,

$\frac{P_1}{P} = \frac{n_1}{n}$ বা, $P_1 = \frac{n_1}{n} \times P$ ... (vi) একইভাবে পাওয়া যায়— $P_2 = \frac{n_2}{n} \times P$ ... (vii)

$P_3 = \frac{n_3}{n} \times P$ ... (viii) $\qquad P_n = \frac{n_n}{n} \times P$ ... (ix)

এখানে $\frac{n_1}{n}, \frac{n_2}{n}, \frac{n_3}{n}$ ইত্যাদি এই ভগ্নাংশগুলিকে **গ্রাম-অণু ভগ্নাংশ** বা **মোল-ভগ্নাংশ** বলে।

কোনো পদার্থের মোল ভগ্নাংশ বলতে মিশ্রণে ওই পদার্থের মোল সংখ্যাকে (বা অণুর সংখ্যাকে) মিশ্রণের মোট মোল সংখ্যা (বা মোট অণুর সংখ্যা) দিয়ে ভাগ করলে যে ভগ্নাংশ পাওয়া যায় তাকেই বোঝায়।

এখন $\frac{n_1}{n} = m_1$, $\frac{n_2}{n} = m_2$, $\frac{n_3}{n} = m_3$, $\frac{n_n}{n} = m_n$ লিখলে (vi), (vii), (viii), (ix) সমীকরণগুলিকে

$P_1 = m_1P$, $P_2 = m_2P$, $P_3 = m_3P$, $P_n = m_nP$ রূপে লেখা যায়।

তাহলে দেখা যাচ্ছে, গ্যাস মিশ্রণের মোট চাপকে (P), গ্যাস মিশ্রণের কোনো একটি উপাদান গ্যাসের মোল ভগ্নাংশ নিয়ে গুণ করলে, গ্যাসটির অংশ চাপ পাওয়া যায়। গ্যাসের অংশ চাপ = গ্যাসটির মোল ভগ্নাংশ × মোট চাপ।

আবার, $m_1 = \frac{n_1}{n} = \frac{n_1}{n_1 + n_2 + n_3 + \cdots + n_n}$, $\qquad m_2 = \frac{n_2}{n} = \frac{n_2}{n_1 + n_2 + n_3 + \cdots + n_n}$,

$m_3 = \frac{n_3}{n} = \frac{n_3}{n_1 + n_2 + n_3 + \cdots + n_n}$, $\qquad m_n = \frac{n_n}{n} = \frac{n_n}{n_1 + n_2 + n_3 + \cdots + n_n}$,

যোগ করে, $m_1 + m_2 + m_3 + \cdots + m_n = \frac{n_1}{n} + \frac{n_2}{n} + \frac{n_3}{n} + \cdots + \frac{n_n}{n}$

$$= \frac{n_1 + n_2 + n_3 + \cdots + n_n}{n} = \frac{n_1 + n_2 + n_3 + \cdots + n_n}{n_1 + n_2 + n_3 + \cdots + n_n} = 1$$

অর্থাৎ কোনো গ্যাস মিশ্রণে উপস্থিত সব উপাদান গ্যাসগুলির মোল-ভগ্নাংশের যোগফল সব সময় 1 হবে।

6.8. গ্যাসের ব্যাপন—গ্রাহামের ব্যাপন সূত্র [Diffusion of Gas—Graham's Law of diffusion]

দেখা গেছে, সমস্ত গ্যাসই পরস্পর মেশালে গ্যাসগুলি সম্পূর্ণ মিশে গিয়ে সমসত্ত্ব মিশ্রণে পরিণত হয়, অবশ্য যদি গ্যাসগুলির মধ্যে কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়া না হয়।

যেমন, অক্সিজেন গ্যাস হাইড্রোজেনের চেয়ে প্রায় 16 গুণ ভারী। এখন অক্সিজেন পূর্ণ একটি গ্যাসজারের উপরে হাইড্রোজেন পূর্ণ অন্য একটি গ্যাসজার উপুড় করে দিলে কিছুক্ষণ পর দেখা যাবে গ্যাস দুটি পরস্পর মিশে সমসত্ত্ব মিশ্রণের সৃষ্টি করেছে। হাইড্রোজেন খুব হালকা হলেও অক্সিজেনপূর্ণ গ্যাসজারের মধ্যে নেমে আসে, আর অক্সিজেন গ্যাস ভারী হলেও অভিকর্ষ বলের বিরুদ্ধে উপরের গ্যাসজারটির মধ্যে উঠে যায়।

● **অভিকর্ষ বলের বিরুদ্ধে একটি পদার্থের, অন্য একটি পদার্থের ভিতরে স্বাভাবিক ও স্বতঃ অনুপ্রবেশকে ব্যাপন বলে।** অর্থাৎ দুটি অসমান ঘনত্বের গ্যাসের পরস্পরের মধ্যে মিশ্রণের পদ্ধতিকেই বলা হয় গ্যাসের ব্যাপন-প্রণালী।

অনেক সময় দেখা যায় যে, কোনো পাত্রের মধ্যে কোনো গ্যাসকে আবদ্ধ করে রাখলে গ্যাসের অণুগুলি পাত্রের প্রাচীরের ছিদ্রের মধ্য দিয়ে ধীরে ধীরে বেরিয়ে আসে।

সব পদার্থের সচ্ছিদ্রতা সমান নয়। যেমন, একটা রবারের বেলুনের মধ্যে H_2 গ্যাস রাখলে, গ্যাসটি তাড়াতাড়ি রবারের দেয়ালের ভিতর দিয়ে বেরিয়ে আসে, কিন্তু H_2 গ্যাসটিকে লোহার পাত্রের মধ্যে রাখলে H_2 গ্যাস মোটেই বের হতে পারে না। কোনো পাত্রের দেয়াল ভেদ করে গ্যাসের এইভাবে বহির্গমনকেও ব্যাপন বলা হয়। অমসৃণ মাটির পাত্র, পোর্সেলিন, প্লাস্টার অব প্যারিসের পাত্র প্রভৃতি হল সচ্ছিদ্র পদার্থ, এইগুলির মধ্য দিয়ে গ্যাসের এইরকম ব্যাপন হয়।

● **গ্রাহামের ব্যাপন-সূত্র** (Graham's law of diffusion) ঃ **নির্দিষ্ট উষ্ণতায় ও চাপে বিভিন্ন গ্যাসের ব্যাপনের হার, গ্যাসগুলির (i) ঘনত্বের বর্গমূলের ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তিত হয়, (ii) আণবিক গুরুত্বের বর্গমূলের ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তিত হয়।**

যেমন, একই উষ্ণতায় এবং চাপে একটি সচ্ছিদ্র পাত্রের মধ্যে পৃথকভাবে CO_2 এবং H_2 গ্যাস রাখলে দেখা যাবে হাইড্রোজেন গ্যাসটি CO_2-এর চেয়ে অনেক দ্রুত পাত্রের দেয়াল ভেদ করে বেরিয়ে আসে। CO_2-এর ঘনত্ব হাইড্রোজেনের ঘনত্বের চেয়ে অনেক বেশি, তাই CO_2-এর ব্যাপনের হার H_2-এর ব্যাপনের হারের চেয়ে অনেক কম।

আবার যেহেতু H_2-এর আণবিক গুরুত্ব CO_2-এর আণবিক গুরুত্বের চেয়ে অনেক কম, তাই CO_2-এর চেয়ে H_2 দ্রুত হারে সচ্ছিদ্র পাত্র থেকে ব্যাপিত হবে।

● **ব্যাপনের হার বলতে, কোনো একটি নির্দিষ্ট পাত্রের সচ্ছিদ্র দেয়ালের মধ্যে দিয়ে যে আয়তন গ্যাস (মিলি লিটারে) প্রতি সেকেন্ডে ব্যাপিত হয়ে বেরিয়ে আসে তাকে বোঝায়।** চাপ ও উষ্ণতা বৃদ্ধিতে ব্যাপন হার বাড়ে।

অর্থাৎ, **ব্যাপনের হার = এক সেকেন্ডে ব্যাপিত গ্যাসের আয়তন।**

ধরি, V ml গ্যাস t সেকেন্ডে ব্যাপিত হয়। $\therefore$ **ব্যাপনের হার** $r = \frac{V}{t}$ ml/s $= \frac{\text{ব্যাপিত গ্যাসের আয়তন } (V \text{ ml})}{\text{সময় (সেকেন্ড)}}$

● **ব্যাপনের হার এবং ঘনত্বের সম্পর্ক ঃ**

নির্দিষ্ট চাপ এবং তাপমাত্রায় ধরি কোনো গ্যাসের ব্যাপনের হার = r এবং ঘনত্ব = ρ

$\therefore$ গ্রাহামের ব্যাপন সূত্রানুযায়ী, $r \propto \frac{1}{\sqrt{\rho}}$ বা, $r = \frac{K}{\sqrt{\rho}}$, K = ধ্রুবক,

নির্দিষ্ট চাপ এবং তাপমাত্রায় একই সচ্ছিদ্র দেয়ালের মধ্যে দিয়ে দুটি গ্যাসের ব্যাপনের হার ধরি যথাক্রমে r_1 এবং r_2 এবং গ্যাস দুটির ঘনত্ব যথাক্রমে ρ_1 এবং ρ_2 তাহলে ব্যাপনের সূত্রানুযায়ী,

$$r_1 \propto \frac{1}{\sqrt{\rho_1}} \quad \text{এবং} \quad r_2 \propto \frac{1}{\sqrt{\rho_2}} \quad \text{বা,} \quad \frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{\rho_2}{\rho_1}} = \sqrt{\frac{D_2}{D_1}} \quad \because D \text{ (বাষ্প ঘনত্ব)} \propto \rho \text{ (ঘনত্ব)} \quad \cdots \quad (6.11)$$

এখন ব্যাপনের হার, ব্যাপিত গ্যাসের আয়তন এবং আপেক্ষিক ঘনত্বের মধ্যে দুটি জানা থাকলে অন্যটি নির্ণয় করা যায়।

● **ব্যাপনের হার আণবিক গুরুত্বের মধ্যে সম্পর্ক ঃ**

যেহেতু আণবিক গুরুত্ব = 2 × বাষ্পঘনত্ব, সুতরাং গ্যাস দুটির আণবিক গুরুত্ব যথাক্রমে M_1 এবং M_2 হলে,

$$D_1 = \frac{M_1}{2} \quad \text{এবং} \quad D_2 = \frac{M_2}{2}$$

এখন (6.11) নং সমীকরণে D_1 এবং D_2-এর মান বসিয়ে,

$$\therefore \frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{D_2}{D_1}} = \sqrt{\frac{M_2/2}{M_1/2}} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}} \quad \text{অর্থাৎ,} \quad \frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (6.12)$$

(r_1, r_2), (D_1, D_2) এবং (M_1, M_2) দুটি গ্যাসের যথাক্রমে ব্যাপনের হার, আপেক্ষিক ঘনত্ব এবং আণবিক গুরুত্ব। হাইড্রোজেনের আণবিক গুরুত্ব = 2 এবং অক্সিজেনের আণবিক গুরুত্ব = 32, সুতরাং একই চাপ ও উষ্ণতা একই থাকলে

$$\frac{\text{হাইড্রোজেনের ব্যাপনের হার } (r_1)}{\text{অক্সিজেনের ব্যাপনের হার } (r_2)} = \sqrt{\frac{O_2\text{-এর আণবিক গুরুত্ব}}{H_2\text{-এর আণবিক গুরুত্ব}}} = \sqrt{\frac{32}{2}} = 4$$

অর্থাৎ H_2-এর ব্যাপনের হার, O_2-এর ব্যাপনের হারের 4 গুণ বেশি হবে।

এই সম্পর্ক থেকে সহজে বোঝা যায় যে একই উষ্ণতায় এবং চাপে সালফার ডাই-অক্সাইডের (mol. wt. = 64) ব্যাপনের চেয়ে কার্বন ডাই-অক্সাইডের (mol. wt. = 44) ব্যাপন আরো দ্রুত হবে। এর কারণ হল CO_2-এর ঘনত্ব তথা আণবিক গুরুত্ব SO_2-এর ঘনত্ব তথা আণবিক গুরুত্বের চেয়ে কম।

● **ব্যাপন কাল এবং ব্যাপনের হারের মধ্যে সম্পর্ক ঃ**

স্থির উষ্ণতায় নির্দিষ্ট আয়তনের গ্যাসের ব্যাপন কাল, ব্যাপনের হারের ব্যস্তানুপাতিক হয়।

অর্থাৎ, $t \propto \frac{1}{r}$ যেখানে t = ব্যাপন কাল এবং r = ব্যাপনের হার।

স্থির উষ্ণতায় দুটি নির্দিষ্ট আয়তনের গ্যাসের ব্যাপন কাল যথাক্রমে t_1 এবং t_2 হলে এবং গ্যাস দুটির ব্যাপন হার যথাক্রমে r_1 এবং r_2 হলে, $t_1 \propto \frac{1}{r_1}$ এবং $t_2 \propto \frac{1}{r_2}$ হয়।

$$\text{অর্থাৎ,} \quad \frac{t_1}{t_2} = \frac{r_2}{r_1} = \sqrt{\frac{D_1}{D_2}} \quad \therefore \frac{t_1}{t_2} = \sqrt{\frac{D_1}{D_2}} = \sqrt{\frac{M_1}{M_2}} \quad \cdots \quad \cdots \quad (6.13)$$

যেহেতু, অক্সিজেনের ঘনত্ব বা আণবিক গুরুত্ব, হাইড্রোজেনের ঘনত্ব বা আণবিক গুরুত্বের 16 গুণ, সেজন্য হাইড্রোজেন অক্সিজেনের চেয়ে তাড়াতাড়ি—অর্থাৎ $\sqrt{16} = 4$ গুণ দ্রুত ব্যাপিত হয়। যদি কোনো সচ্ছিদ্র দেয়ালের মধ্যে দিয়ে 100 ml H_2 গ্যাস t সেকেন্ডে ব্যাপিত হয়, তবে ওই সময়ে মাত্র 25 ml O_2 গ্যাস ওই সচ্ছিদ্র দেয়ালের ভিতর দিয়ে ব্যাপিত হবে।

● **ছিদ্র-ব্যাপন বা অভিব্যাপন** (Effusion) ঃ

গ্যাসের ব্যাপনে, দুটি গ্যাস বাইরে থেকে প্রযুক্ত কোনো বলের সাহায্য ছাড়াই পরস্পরের মধ্যে অনুপ্রবেশ করে। **একটি গ্যাসকে খুব বেশি চাপ প্রয়োগ করে একটা নির্দিষ্ট চাপে খুব সূক্ষ্ম একটি ছিদ্রের মধ্য দিয়ে বাতাসের মধ্যে ব্যাপিত হওয়ার সুযোগ দিলে, গ্যাসটি বাতাসের মধ্যে ব্যাপিত হবে, বাতাস কিন্তু গ্যাসটির মধ্যে ব্যাপিত হতে পারবে না। কোনো একক গ্যাসের এরকম ব্যাপনকে ছিদ্র-ব্যাপন (Effusion) বলে।**

উচ্চ চাপ প্রয়োগে, সূক্ষ্মছিদ্রের মধ্য দিয়ে কোনো গ্যাসের একমুখী এবং একক ব্যাপনকে ছিদ্র-ব্যাপন বলে।

ব্যাপনে গ্যাসের অণু নিজস্ব স্বাভাবিক গতির জন্য নিজে থেকেই সচ্ছিদ্র বস্তু থেকে বেরিয়ে আসে, আর ছিদ্র ব্যাপনে বাইরে থেকে চাপ প্রয়োগ করে কোনো একক গ্যাসকে সূক্ষ্ম ছিদ্রপথে জোর করে বের করা হয়। গ্যাসের ব্যাপন হার নির্ণয় করা কঠিন, তাই ছিদ্র ব্যাপনের সাহায্যে ব্যাপনের হার নির্ণয় করা হয়, কারণ **ছিদ্র-ব্যাপনের হারও গ্রাহাম সূত্র মেনে চলে।**

● **ব্যাপনের ব্যবহারিক প্রয়োগ** (Practical applications of diffusion) ঃ

(1) ব্যাপন প্রক্রিয়ার সাহায্যে **বিভিন্ন ঘনত্বের গ্যাসের মিশ্রণ থেকে উপাদান গ্যাসগুলিকে সহজ উপায়ে পৃথক করা যায়।** অনেক সময় সচ্ছিদ্র পোর্সেলিন পাত্রের ভেতর থেকে গ্যাস মিশ্রণকে বাইরে পাঠিয়ে হালকা গ্যাসগুলিকে পৃথক করা হয়। এই প্রণালীকে **অ্যাটমোলিসিস** (atomolysis) বলে।

(2) ব্যাপন প্রক্রিয়ায় গ্রাহামের ব্যাপন সূত্র প্রয়োগ করে **গ্যাসের আপেক্ষিক ঘনত্ব এবং আণবিক গুরুত্ব নির্ণয় করা হয়।**

(3) **বিভিন্ন আইসোটোপগুলিকে** এই প্রক্রিয়ার সাহায্যে অনেক সময় **পৃথক করা হয়।**

(4) খনির মধ্যে মার্স গ্যাস বেশি জমে গেলে বিস্ফোরণের সম্ভাবনা থাকে। খনিতে মার্স গ্যাসের উপস্থিতি জানার জন্য বিপদ সূচক বৈদ্যুতিক ঘণ্টা ব্যবহার করা হয়। এতে ব্যাপন ক্রিয়ার প্রয়োগ করা হয়।

6.9. আদর্শ গ্যাস এবং বাস্তব গ্যাস [Real gas and Ideal gas]

যে গ্যাস, আদর্শ গ্যাস সমীকরণ $PV = nRT$-কে, উষ্ণতা এবং চাপের সব অবস্থাতেই সঠিক মেনে চলে, তাকে আদর্শ গ্যাস বলা হয়। বাস্তবে উষ্ণতা এবং চাপের সব অবস্থায় কোনো বাস্তব গ্যাসই আদর্শ গ্যাস সমীকরণটিকে মেনে চলে না।

বিভিন্ন বাস্তব গ্যাস নিয়ে পরীক্ষা করে দেখা গেছে কেবল H_2, N_2 ইত্যাদি মাত্র কয়েকটি গ্যাস, খুব কম চাপ এবং উচ্চ উষ্ণতায় আদর্শ গ্যাস সমীকরণটিকে সম্পূর্ণভাবে না হলেও কিছুটা মেনে চলে। উচ্চচাপ ও কম উষ্ণতায় ওই গ্যাসগুলিও $PV = nRT$ সমীকরণটি মেনে চলে না।

যে সব গ্যাস উষ্ণতা এবং চাপের সব অবস্থাতেই আদর্শ গ্যাস সমীকরণটিকে মেনে চলে না তাদের বাস্তব গ্যাস বলে। দেখা গেছে জলে দ্রাব্য গ্যাসগুলি বা যে গ্যাসগুলি সহজে তরলে পরিণত হয় যেমন, Cl_2, CO_2, NH_3 প্রভৃতির ক্ষেত্রে $PV = nRT$ সমীকরণ থেকে বিচ্যুতির পরিমাণ বেশি হয় এবং O_2, N_2, H_2 গ্যাসগুলির ক্ষেত্রে বিচ্যুতির পরিমাণ অপেক্ষাকৃত কম হয়।

● আদর্শ ও বাস্তব গ্যাসের তুলনা ●

আদর্শ গ্যাস	বাস্তব গ্যাস
(1) চাপ ও উষ্ণতার যে কোনো অবস্থায় আদর্শ গ্যাস $PV = nRT$ সমীকরণ মেনে চলে।	(1) কেবল উচ্চ উষ্ণতা এবং খুব কম চাপে মাত্র কয়েকটি বাস্তব গ্যাস আদর্শ গ্যাস সমীকরণ কিছুটা মান্য করে।
(2) প্রকৃতিতে আদর্শ গ্যাসের অস্তিত্ব নেই।	(2) প্রকৃতির সব গ্যাসই হল বাস্তব গ্যাস।
(3) সমগ্র গ্যাসের আয়তনের তুলনায় আদর্শ গ্যাসের অণুগুলির মোট আয়তন নগণ্য।	(3) সমগ্র গ্যাসের আয়তনের তুলনায় বাস্তব গ্যাসের অণুগুলির মোট আয়তন নগণ্য নয়।
(4) আদর্শ গ্যাসের আন্তরাণবিক আকর্ষণ বল নগণ্য।	(4) বাস্তব গ্যাসের আন্তরাণবিক আকর্ষণ বল নগণ্য নয় বিশেষ করে উচ্চ চাপ ও কম উষ্ণতায়।
(5) আদর্শ গ্যাস $PV = nRT$ সমীকরণকে মেনে চলে।	(5) বাস্তব গ্যাস ভান্ডারওয়ালের সমীকরণ $\left(P + \frac{an^2}{V^2}\right)(V - nb) = nRT$-কে মেনে চলে।

6.10. আদর্শ গ্যাসের আচরণ থেকে বাস্তব গ্যাসের বিচ্যুতি [Deviation of Real gases from Ideal behaviour]

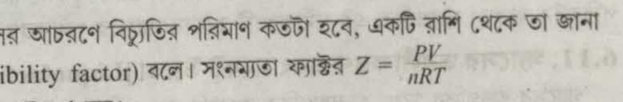
আদর্শ গ্যাসের আচরণ থেকে একটি বাস্তব গ্যাসের আচরণে বিচ্যুতির পরিমাণ কতটা হবে, একটি রাশি থেকে তা জানা যায়—এই রাশিটিকে **সংনম্যতা ফ্যাক্টর** (Compressibility factor) বলে। সংনম্যতা ফ্যাক্টর $Z = \frac{PV}{nRT}$

(i) আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে $PV = nRT$ হয়, অর্থাৎ $Z = 1$ হয়।

(ii) বাস্তব গ্যাসের ক্ষেত্রে $PV \neq nRT$ হয়, অর্থাৎ $Z \neq 1$ হবে। বাস্তব গ্যাসের ক্ষেত্রে 2টি অবস্থা হতে পারে—যদি $Z < 1$ হয় (যেমন CO_2, NH_3, CH_4 ইত্যাদির ক্ষেত্রে); তাহলে বলা হয় যে **গ্যাসটির বিচ্যুতির পরিমাণ নেগেটিভ হয়েছে**—এর দ্বারা বোঝায় যে আদর্শ গ্যাসের থেকে এই গ্যাসটির সংনম্যতা অনেক বেশি। এর কারণ হল আদর্শ গ্যাসের চেয়ে এই গ্যাসগুলির **আন্তরাণবিক আকর্ষণ বল** অনেক বেশি।

আবার যদি কোনো গ্যাসের ক্ষেত্রে $Z > 1$ হয় (যেমন, O_2, H_2, N_2 ইত্যাদি), তাহলে গ্যাসটির **বিচ্যুতির পরিমাণ পজিটিভ হয়**। এর দ্বারা বোঝায় যে আদর্শ গ্যাসের চেয়ে বাস্তব গ্যাসটি কম সংনম্য, কারণ আদর্শ গ্যাসের চেয়ে এই গ্যাসটির অণুগুলির মধ্যে বিকর্ষণ বল বেশি। কোনো গ্যাসের Z-এর মান 1 থেকে যত বেশি বা কম হয়, আদর্শ গ্যাসের আচরণ থেকে গ্যাসটির বিচ্যুতির পরিমাণ তত বেশি হয়।

একই চাপ ও উষ্ণতায় এই বিচ্যুতির পরিমাণ নির্ভর করে সংশ্লিষ্ট গ্যাসটির প্রকৃতির উপর যা পাশের লেখচিত্রে দেখানো হয়েছে।



চিত্র 6.14 ঃ (I) একই উষ্ণতা ও চাপে বিভিন্ন গ্যাসের বিচ্যুতি (II) স্থির চাপে বিভিন্ন উষ্ণতায় N_2 গ্যাসের বিচ্যুতি

6.14 এর I নং লেখচিত্রে দেখানো হয়েছে যে, **একই উষ্ণতা এবং চাপে বিচ্যুতির পরিমাণ বিভিন্ন গ্যাসের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে।** I নং লেখতে দেখা যায় যে মাঝামাঝি চাপে CO_2-এর নেগেটিভ বিচ্যুতি সর্বোচ্চ; H_2 বা He-এর চেয়ে অনেক বেশি।

একই গ্যাসের ক্ষেত্রে একটি নির্দিষ্ট চাপে, বিচ্যুতির পরিমাণ উষ্ণতার উপর নির্ভর করে যেমন 6.4 এর II নং চিত্রে N_2-এর ক্ষেত্রে দেখানো হয়েছে। এই লেখতে দেখা যায় যে, উষ্ণতা বৃদ্ধির সাথে লেখগুলির উর্ধ্বমুখী বক্রতা কমে যেতে থাকে শেষে একটা নির্দিষ্ট উষ্ণতায় এবং মোটামুটি চাপের পাল্লার মধ্যে N_2 গ্যাসের Z-এর মান 1এর কাছাকাছি চলে আসে। যেমন, N_2 গ্যাসের ক্ষেত্রে, 323 K উষ্ণতায় 100 atm চাপে Z-এর মান 1 এর কাছাকাছি চলে আসে। মোটের উপর দেখা যায় **সাধারণ চাপে (1 – 10 atm) এবং উচ্চ উষ্ণতায় বাস্তব গ্যাসগুলির Z-এর মান 1-এর খুব কাছাকাছি চলে আসে** অর্থাৎ আদর্শ গ্যাসগুলির আচরণ থেকে বাস্তব গ্যাসগুলির আচরণের পার্থক্য এতো কমে যায় যে বাস্তব গ্যাসগুলির ক্ষেত্রেও আদর্শ গ্যাস সমীকরণটি প্রযোজ্য হয়।

● **আদর্শ গ্যাসের ব্যবহার থেকে বিচ্যুত হওয়ার কারণ ঃ**

সব উষ্ণতায় এবং চাপে $PV = nRT$ সমীকরণটি বাস্তব গ্যাসগুলির ক্ষেত্রে প্রযোজ্য নয়। এর কারণস্বরূপ বলা হয় যে গ্যাসের গতিতত্ত্বের যে স্বীকার্যগুলির উপর ভিত্তি করে গ্যাস সমীকরণটি গঠিত, বাস্তব গ্যাসগুলির ক্ষেত্রে সেই স্বীকার্যগুলি সব অবস্থায় সঠিক খাটে না। ভান্ডারওয়ালের মতে গ্যাসের গতীয় তত্ত্বের মূল স্বীকার্যগুলির মধ্যে বিশেষ করে **নীচের দুটি স্বীকার্য বাস্তব গ্যাসের পক্ষে প্রযোজ্য নয়—**

(i) গ্যাসের অণুগুলি সম্পূর্ণ স্থিতিস্থাপক গোলক, তাই পরস্পরের সাথে বা দেয়ালের সাথে ধাক্কায় অণুগুলির গতিশক্তি হ্রাস পায় না। অণুগুলির পরস্পরের মধ্যে অথবা অণু এবং পাত্রের দেয়ালের মধ্যে কোনো আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল কাজ করে না।

(ii) গ্যাসের সব অণুগুলি বিন্দু ভর এবং গ্যাসের আয়তনের তুলনায় অর্থাৎ পাত্রের আয়তনের তুলনায় ওদের আয়তন নগণ্য।

উচ্চচাপ এবং খুব কম উষ্ণতায় এই দুটি স্বীকার্য বাস্তব গ্যাসের পক্ষে প্রযোজ্য নয়। সংকট উষ্ণতার নীচে চাপ প্রয়োগ করে যেকোনো বাস্তব গ্যাসকে তরলে পরিণত করা যায়—এই ঘটনা নিঃসন্দেহে প্রমাণ করে যে গ্যাসের অণুগুলির মধ্যে পরস্পরের প্রতি আকর্ষণ বল কাজ করে। যদিও খুব কম চাপে অণুগুলির মধ্যে এই আকর্ষণ বল নগণ্য।

V-আয়তন পাত্রের মধ্যে আবদ্ধ গ্যাসের ক্ষেত্রে—V-আয়তনের সবটাই অণুগুলির চলাফেরার জন্য পাওয়া যায় না। কারণ পাত্রের আয়তনের তুলনায় বাস্তব গ্যাসের মিলিত অণুগুলির আয়তনকে নগণ্য বলা যায় না। এই বিষয়গুলিকে ধরে নিয়ে আদর্শ গ্যাস সমীকরণে ($PV = nRT$), ভান্ডারওয়াল P এবং V-এর কিছু সংশোধন করে বাস্তব গ্যাসের ক্ষেত্রে গ্যাস সমীকরণটির কিছু পরিবর্তন করেন। সংশোধিত এই সমীকরণটি **ভান্ডারওয়ালের সমীকরণ** নামে পরিচিত।

6.11. গ্যাসের তরলীকরণ এবং সংকট উষ্ণতা [Liquefaction of gases and critical temperatures]

গ্যাসের অণুগুলির মধ্যে আন্তরাণবিক আকর্ষণ বল বেশি হলেই গ্যাস তরলে পরিণত হয়। গ্যাসের অণুগুলি পরস্পরের কাছাকাছি এলে ওদের মধ্যে আন্তরাণবিক আকর্ষণ বল বাড়ে। এখন গ্যাসের অণুগুলিকে পরস্পরের খুব কাছাকাছি আনা হয় দুটি উপায়ে—গ্যাসের উপর চাপ প্রয়োগ করে অথবা গ্যাসকে খুব শীতল করার মাধ্যমে গ্যাসের গতিশক্তিকে কমিয়ে।

সুতরাং কোনো গ্যাসকে তরলে পরিণত করা যায়—গ্যাসটিকে শীতল করে বা গ্যাসটির উপর চাপ প্রয়োগ করে অথবা শীতলীকরণ এবং চাপ প্রয়োগ—এই উভয় প্রক্রিয়া এক সাথে প্রয়োগ করে।

অ্যামোনিয়া, কার্বন ডাইঅক্সাইড, সালফার ডাইঅক্সাইড, হাইড্রোজেন ক্লোরাইড প্রভৃতি গ্যাসগুলিকে সহজেই তরলে পরিণত করা যায় উপরের পদ্ধতির যে কোনো একটি প্রক্রিয়ার সাহায্যে—হয় ঘরের উষ্ণতায় চাপ প্রয়োগ করে নয়তো সাধারণ চাপে গ্যাসগুলিকে শীতল করে। দেখা গেছে গ্যাসগুলির তরলীকরণে উষ্ণতার প্রভাব খুব বেশি কাজ করে। বেশি উষ্ণতায় গ্যাসগুলিকে তরলে পরিণত করা কষ্টসাধ্য এবং এতে খুব বেশি চাপ প্রয়োগ করতে হয়। CO_2-এর তরলীকরণের ক্ষেত্রে বিভিন্ন উষ্ণতায় কী পরিমাণ চাপ প্রয়োগের প্রয়োজন হয় তা নীচে দেখানো হল—

উষ্ণতা (°C)	−50	−30	−10	10	20	30	31·1
চাপ (atm)	6·7	14·1	20·1	44·4	62·5	71·2	73·9

আবার দেখা যায় H_2, He, O_2, N_2 প্রভৃতি গ্যাসগুলির ক্ষেত্রে ঘরের উষ্ণতায় যত বেশি সম্ভব চাপ প্রয়োগ করা সত্ত্বেও গ্যাসগুলিকে তরলে পরিণত করা যায় না। দেখা গেছে এই গ্যাসগুলিকে একটি বিশেষ উষ্ণতার নীচে নিয়ে চাপ প্রয়োগ করে তরলে পরিণত করা যায়। **প্রতিটি গ্যাসের ক্ষেত্রে এক একটি বিশেষ উষ্ণতা আছে—যার উপরে গ্যাসটি থাকলে চাপ যত ইচ্ছা প্রয়োগ করেও গ্যাসটিকে তরলে পরিণত করা যায় না।**

● **সংকট উষ্ণতা (T_c) ঃ প্রত্যেকটি গ্যাসের জন্য এক একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতা আছে যে উষ্ণতায় বা যে উষ্ণতার নীচে গ্যাসটিকে নিয়ে না গেলে শুধু চাপ প্রয়োগ করে ওই গ্যাসটিকে তরলে পরিণত করা যায় না, এই নির্দিষ্ট উষ্ণতাকে গ্যাসটির সংকট উষ্ণতা** (critical temperature) **বলে।**

কোনো গ্যাসের উষ্ণতা ওই নির্দিষ্ট উষ্ণতার বেশি হলে, বেশি চাপ প্রয়োগ করা সত্ত্বেও গ্যাসটিকে কিছুতেই তরলে পরিণত করা যায় না। এই নির্দিষ্ট উষ্ণতাকে ওই গ্যাসটির সংকট উষ্ণতা বলে।

কোনো গ্যাসের সংকট উষ্ণতায় (T_c), গ্যাসটির উপর যে পরিমাণ চাপ প্রয়োগ করলে গ্যাসটি তরলে পরিণত হয়, তাকে ওই গ্যাসের সংকট চাপ (P_c) বলে। সংকট চাপ ও সংকট উষ্ণতায় এক মোল গ্যাস দ্বারা অধিকৃত আয়তনকে সংকট আয়তন (V_c) বলে। এই তিনটিকে (T_c, P_c, V_c) এক সাথে **সংকট ধ্রুবক** বলা হয়। CO_2 গ্যাসের $T_c = 31{\cdot}1^oC$, $P_c = 73{\cdot}9$ atm এবং $V_c = 95{\cdot}6\ cm^3mol^{-1}$.

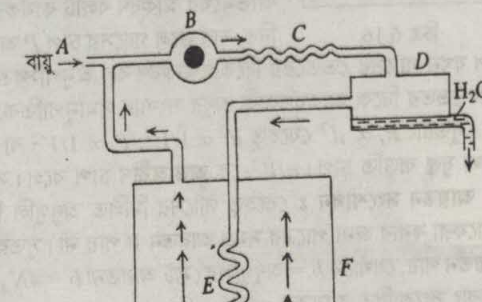
● **সংকট উষ্ণতার গুরুত্ব**—সংকট উষ্ণতা হল কোনো গ্যাসের **আন্তরাণবিক আকর্ষণ বলের পরিমাপক**। কোনো গ্যাসের অণুগুলির মধ্যে আন্তরাণবিক আকর্ষণ বল যত দুর্বল হবে, গ্যাসটিকে তরলে পরিণত করা তত কঠিন হয়। তাই এক্ষেত্রে সংকট উষ্ণতাকে খুবই কম হতে হয়। যেমন H_2 গ্যাসের অণুগুলির মধ্যে আন্তরাণবিক আকর্ষণ বল খুব কম বলে H_2 গ্যাসের সংকট উষ্ণতা খুবই কম। অপরদিকে NH_3, CO_2, SO_2 ইত্যাদি গ্যাসের আন্তরাণবিক আকর্ষণ বল অপেক্ষাকৃত বেশি বলে ওই গ্যাসগুলির সংকট উষ্ণতা বেশি—এমনকি ঘরের উষ্ণতার চেয়ে বেশি।

● **গ্যাসের তরলীকরণ প্রক্রিয়া ঃ লিন্ডের পদ্ধতি—সংনমিত গ্যাসের রুদ্ধতাপ প্রসারণ দ্বারা—**

এই পদ্ধতিতে **জুল টমসন ক্রিয়ার** উপর ভিত্তি করে রুদ্ধতাপ সম্প্রসারণের মাধ্যমে গ্যাসকে তরলে পরিণত করা হয়। জুল টমসন ক্রিয়াটি হল—**উচ্চ চাপে থাকা অবস্থায় কোনো গ্যাসকে সরু ছিদ্রপথে রুদ্ধতাপ প্রক্রিয়ায় নিম্নচাপ অঞ্চলে প্রসারিত হতে দিলে গ্যাসটির উষ্ণতা অনেক কমে যায়।**

এর কারণ হল উচ্চ চাপে থাকা অবস্থায় গ্যাসের অণুগুলি কাছাকাছি থাকে। এখন খুব উচ্চ চাপের মধ্যে থাকা কোনো গ্যাসকে যদি নিম্নচাপ অঞ্চলে এমনভাবে প্রসারিত করা হয় যেন গ্যাসটিকে কোনো বাহ্যিক কার্য করতে না হয়—তাহলে নিম্নচাপ অঞ্চলে গ্যাসটি এলে গ্যাসের অণুগুলির মধ্যে পারস্পরিক গড় দূরত্ব বৃদ্ধি করতে যে শক্তির প্রয়োজন হয়, সেই শক্তি ওই গ্যাসটিই সরবরাহ করে, ফলে গ্যাসটির উষ্ণতা হ্রাস পায়।

হাইড্রোজেন ও হিলিয়ামের ক্ষেত্রে, গ্যাস দুটিকে একটি বিশেষ উষ্ণতায় আনা হয়—একে ক্রান্তিক উষ্ণতা (inversion temperature) বলে। গ্যাসটিকে এই ক্রান্তিক উষ্ণতার নীচে শীতল করে রুদ্ধতাপ প্রসারণ প্রক্রিয়া দ্বারা H_2 এবং He-কে প্রসারিত হতে দেওয়া হয়। 6.11 চিত্রে লিন্ডের যে যন্ত্রের সাহায্যে বায়ুকে তরলীকরণ করেন তার ছবি দেওয়া হল।



চিত্র 6.15 ঃ গ্যাসের তরলীকরণ

যন্ত্রের বর্ণনা এবং কার্যপদ্ধতি ঃ প্রথমে বায়ুকে B সংনমক যন্ত্র দ্বারা 200 atm চাপে সংনমিত করা হয়—এর পর সংনমিত বায়ুকে C শীতলীকরণ কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে অতিক্রম করিয়ে বায়ুকে শীতল করা হয়। এখানে বায়ুর মধ্যস্থ জলীয় বাষ্প তরলে পরিণত হয়ে যায়, (D) প্রকোষ্ঠে একে পৃথক করা হয়। এরপর শুষ্ক এবং শীতল বায়ুকে কপার কুণ্ডলীর (E) মধ্য দিয়ে অতিক্রম করানো হয় যার শেষ প্রান্তে একটি সরু ছিদ্র (J) আছে। 200 atm চাপে থাকা শীতল বায়ু ওই সূক্ষ্ম ছিদ্র (J)-এর মধ্য দিয়ে বাইরের বড় কক্ষে (F) 50 atm চাপে থাকা বায়ুর মধ্যে এসে পড়ে এবং হঠাৎ চাপমুক্ত হয়। এর ফলে ওই বেরিয়ে আসা বায়ুর উষ্ণতা অনেক কমে যায়।

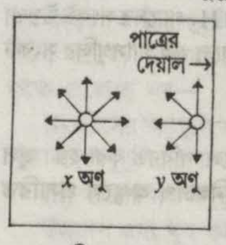
এই শীতলীকৃত বায়ুকে আবার (B) সংনমন যন্ত্রে পাঠিয়ে 200 atm চাপে সংনমিত করে ওই সংনমিত বায়ুকে পূর্বের মতোই পর পর (C), (D), (E) এবং শেষে (J) এর মধ্য দিয়ে বড়ো কক্ষে মুক্ত করা হয়। বহু বার এই প্রক্রিয়া পর পর সম্পাদন করার ফলে বায়ুর উষ্ণতা অনেক কমে যায় এবং এক সময় তরলে পরিণত হয়। এইভাবে উৎপন্ন তরল বায়ু নীচের একটি পাত্রে জমা হয়। G নির্গম নলের সাহায্যে তরল বায়ুকে বের করে নেওয়া হয়।

6.12. ভান্ডারওয়ালের সমীকরণ [Vander Waal's equation]

গ্যাসের গতীয় তত্ত্ব আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য, কিন্তু এই তত্ত্বের দুটি স্বীকার্য—**(i)** সমগ্র গ্যাসের আয়তনের তুলনায় গ্যাসের অণুগুলির মোট আয়তন নগণ্য এবং **(ii)** গ্যাসের অণুগুলির মধ্যে আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল নগণ্য—এই দুটি স্বীকার্য কিন্তু বাস্তব

গ্যাসের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য নয়। দেখা গেছে উচ্চ উষ্ণতা এবং খুব কম চাপে কয়েকটি বাস্তব গ্যাসের ক্ষেত্রে কিছুটা প্রযোজ্য হয়। বাস্তব গ্যাসের ক্ষেত্রে আন্তরাণবিক আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল কিন্তু মোটেই নগণ্য নয় এবং চাপ প্রয়োগে গ্যাসের মোট আয়তন খুব কমে গেলে, ওর মধ্যস্থ অণুগুলির মোট আয়তন, গ্যাসের আয়তনের তুলনায় মোটেই নগণ্য হয় না। এই সব বিচার করে 1873 খ্রিস্টাব্দে বিজ্ঞানী **ভান্ডারওয়াল** বাস্তব গ্যাসের আচরণ ব্যাখ্যা করার জন্য আদর্শ গ্যাস সমীকরণে কিছু কিছু পরিবর্তন করে ওই অসঙ্গতিগুলির সংশোধন এবং পরিবর্তন করে বাস্তব গ্যাসের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য হয় এমন একটি গ্যাস সমীকরণের প্রবর্তন করেন। বাস্তব গ্যাসের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য এই সমীকরণটি ভান্ডারওয়ালের সমীকরণ নামে পরিচিত।

চাপের (*P*) সংশোধন ঃ পাত্রের দেয়ালের সঙ্গে গ্যাসের অণুগুলির সংঘর্ষের ফলে গ্যাসের চাপ সৃষ্টি হয়। ভান্ডারওয়ালের মতে বাস্তব গ্যাসের অণুগুলির মধ্যে আন্তরাণবিক আকর্ষণ বল কার্যকর হয়। পাত্রের মাঝের অংশের একটি অণু (*x*) চারদিক থেকে সমভাবে অন্য অণুগুলির দ্বারা ঘেরা থাকে—ফলে অণুটি সব দিক থেকে সমভাবে আকৃষ্ট হয়, তাই অণুটির উপর কোনো লব্ধি বল কাজ করে না। অন্য একটি অণু (*y*) -এর সঙ্গে পাত্রের দেয়ালের সংঘর্ষ হওয়ার পূর্ব মুহূর্তের ঘটনা বিচার করলে দেখা যায়, অণুটিকে গ্যাসের ভেতরের অংশের অণুগুলি ভেতর দিকে আকর্ষণ করতে থাকে। কিন্তু দেয়ালের দিকে কোনো অণু না থাকায় দেয়ালের দিক থেকে অণুটি আকৃষ্ট হয় না। এর ফলে, পাত্রের দেয়ালের খুব কাছের অণুগুলির গতি কমে যায়, যার জন্য অণুটি পাত্রের দেয়াল যত জোরে ধাক্কা দেওয়ার কথা, তার চেয়ে কম জোরে ধাক্কা দেয়। যদি অণুটির উপর এই ভেতর অভিমুখের আকর্ষণ বলটি কার্যকর না হোতো তাহলে অণুটি আরও বেশি জোরে পাত্রের দেয়ালে ধাক্কা দিত, যার ফলে গ্যাসের চাপ P আরো বেড়ে ধরি $(P + P_i)$ হোতো। P_i = অণুটির দ্বারা প্রযুক্ত অতিরিক্ত চাপ যখন গ্যাসের ভেতরের দিকের আকর্ষণ বল অনুপস্থিত থাকে। P_i, কোনো মুহূর্তে দেয়ালের সঙ্গে সংঘর্ষকারী অণুর সংখ্যা এবং ভেতর দিকে আকর্ষণকারী অণুর সংখ্যার সমানুপাতিক হয়। গ্যাসের অণুর এই দুটি সংখ্যাই গ্যাসের ঘনত্বের সমানুপাতিক হয়। সুতরাং $P_i \propto d^2$ যেহেতু $d^2 \propto 1/V^2$, $P_i \propto 1/V^2$ বা $P_i = a/V^2$, a একটি ধ্রুবক। $a/V^2 = (P_i)$ = গ্যাসের চাপ P-এর সঙ্গে যুক্ত বাড়তি চাপ। a/V^2-কে **অভ্যন্তরীণ চাপ** বলে। সুতরাং সংশোধিত চাপ = $(P + a/V^2)$



চিত্র 6.16

আয়তন সংশোধন ঃ যেহেতু গ্যাসের মিলিত অণুগুলি কিছু আয়তন অধিকার করে, তাই পাত্রের মধ্যের গ্যাসীয় অণুগুলি চলাফেরা করার জন্য পাত্রের সমগ্র আয়তন V পায় না। সুতরাং মুক্তভাবে চলাফেরা করার জন্য পাত্রের মধ্যস্থ অণুগুলি $(V - b)$ আয়তন পায়, যেখানে b = *অণুগুলির মোট আয়তন।* $b = 4N_A b_1$; যেখানে b_1 = একটি অণুর আয়তন, N_A = অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা। সুতরাং সংশোধিত আয়তন = $(V - b)$।

এই সংশোধিত চাপ এবং আয়তনের মান $PV = RT$ সমীকরণে বসিয়ে পাওয়া যায়—

$$\boxed{\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT} \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.14)$$

এই সমীকরণটি **এক মোল গ্যাসের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য।**

এই সমীকরণটিকে **ভান্ডারওয়ালের সমীকরণ** বলা হয়। যদি V আয়তনে n মোল গ্যাস বর্তমান থাকে তাহলে 1 মোল গ্যাসের আয়তন V/n হয়, সুতরাং এই ক্ষেত্রে সমীকরণটি নীচের মতো হয়।

$$\left[P + \frac{a}{(V/n)^2}\right]\left(\frac{V}{n} - b\right) = RT \quad \text{বা,} \quad \boxed{\left(P + \frac{an^2}{V^2}\right)(V - nb) = nRT} \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.15)$$

(i) খুব কম চাপে, V^2 খুব বড়ো হয়।

$$\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT \quad \text{বা,} \quad PV - Pb + \frac{a}{V} - \frac{ab}{V^2} = RT \quad \text{বা,} \quad PV = RT + Pb - \frac{a}{V} + \frac{ab}{V^2} \quad \ldots \quad (6.16)$$

যেহেতু খুব কম চাপে V^2-এর মান খুব বড়ো হয়, তাই এক্ষেত্রে ab/V^2 এবং Pb নগণ্য হয়ে যায়, তাই ab/V^2 এবং Pb নগণ্য বলে বাদ দিলে সমীকরণটি $PV = RT - a/V$ হয়, অর্থাৎ $PV < RT$ হয়।

চাপ যত বাড়তে থাকে V তত কমতে থাকে বলে a/V-এর মান বাড়ে। সুতরাং P বাড়ার সঙ্গে সঙ্গে PV-এর মান কমে। এটি বাস্তব গ্যাসের ক্ষেত্রে সত্য বলে প্রমাণিত।

(ii) বেশি চাপে V-এর মান খুব কমে যায় ফলে P-এর বিরাট মানের জন্য a/V^2 নগণ্য হয়ে যায়। সুতরাং এক্ষেত্রে $P(V - b) = RT$ বা, $PV = RT + Pb$ হয়। অর্থাৎ $PV > RT$ হয়। P বাড়ার সঙ্গে সঙ্গে PV-এর মান বাড়ে বলে PV বনাম P লেখতে লেখটি একটি নিম্নমানে পৌঁছবার পর সোজা উপরের দিকে উঠে যায়, কেন তার কারণ ভান্ডারওয়ালের সমীকরণ দ্বারা এইভাবে ব্যাখ্যা করা যায়।

(iii) কম উষ্ণতায় P এবং V-এর মান কম হয়। সুতরাং চাপ ও আয়তনের সংশোধন এক্ষেত্রে বেশি প্রযোজ্য হয় তাই কম উষ্ণতায় বাস্তব গ্যাস, আদর্শ গ্যাসের আচরণ থেকে বেশি বিচ্যুত হয়।

(iv) বেশি উষ্ণতায় এবং কম চাপে, V খুব বড়ো হয়, সুতরাং V-এর তুলনায় b নগণ্য হয়ে যায় তাই a/V^2-কে নগণ্য বলে ধরা যায়। সুতরাং এক্ষেত্রে $PV = RT$ হয়। সুতরাং এই অবস্থায় ভান্ডারওয়ালের সমীকরণটি $PV = RT$ সমীকরণে রূপান্তরিত হয়।

● **গাণিতিক উদাহরণ** (Numerical examples)ঃ

(1) 1 মোল CO_2-এর আয়তন 295K উষ্ণতায় 1·5 dm^3 হয়। গ্যাসটির চাপ নির্ণয় করো—(i) আদর্শ গ্যাস সমীকরণ প্রয়োগ করে, (ii) ভান্ডারওয়ালের সমীকরণ প্রয়োগ করে ($a = 3·6$ atm $dm^6 mol^{-2}$, $b = 0·04$ dm^3 mol^{-1}).

Ans. (i) আদর্শ গ্যাসের সমীকরণ থেকে পাই—$P = RT/V$. এখানে $R = 0·082$ atm dm^3 $mol^{-1}K^{-1}$, $T = 295K$, $V = 1·5$ dm^3. $\therefore P = \frac{0·082 \times 295}{1·5} = 16·13$ atm

(ii) এক মোল গ্যাসের ক্ষেত্রে ভান্ডারওয়ালের সমীকরণ প্রয়োগ করে—

$$\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT \quad \text{বা, } P = \frac{RT}{(V-b)} - \frac{a}{V^2} \quad \text{বা, } P = \frac{0·082 \times 295}{(1·5 - 0·04)} - \frac{3·6}{(1·5)^2} = 14·97 \text{ atm}$$

(2) 5 atm চাপে এবং 273 K উষ্ণতায় এক মোল হাইড্রোজেনের আয়তন কত হবে যদি $a = 0·245$ atm $litre^2 mol^{-2}$ এবং $b = 0·0266$ litre mol^{-1} হয়।

Ans. 1 মোল গ্যাসের জন্য $\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT$ বা, $PV - Pb + \frac{a}{V} - \frac{ab}{V^2} - RT = 0$

ab/V^2 খুব ছোটো তাই বাদ দিলে $PV - Pb + a/V - RT = 0$

বা, $5V - (5 \times 0·0266) + \frac{0·245}{V} - 0·082 \times 273 = 0$ বা, $5V - 0·133 + \frac{0·245}{V} - 22·39 = 0$

বা, $5V^2 - 22·52V + 0·245 = 0$ বা, $V = 4·493$ litres

(3) অক্সিজেন গ্যাসের ক্ষেত্রে ভান্ডারওয়াল ধ্রুবক $b = 4V = 0·0318$ L mol^{-1} হলে অক্সিজেন অণুর ব্যাস নির্ণয় করো।

Ans. $b = 4V$ যেখানে V = আয়তন, b = ভান্ডারওয়াল ধ্রুবক।

বা, $V = b/4 = 0·0318/4 = 7·95 \times 10^{-3}$ L^{-} $mol^{-1} = 7·95$ cm^3 mol^{-1}

একটি O_2 অণু দ্বারা অধিকৃত আয়তন $= 7·95/6·023 \times 10^{-3} = 1·32 \times 10^{-23}$ cm^3

অণুগুলিকে গোলকাকৃতি ধরে আয়তন $= 4/3\ \pi r^3 = 1·32 \times 10^{-23}$ cm^3 (r = O_2 অণুর ব্যাসার্ধ)

বা, $r^3 = \frac{3 \times 7 \times 1·32 \times 10^{-23}}{4 \times 22} = 3·15 \times 10^{-24}$ বা, $r = 1·466 \times 10^{-8}$ cm

O_2 অণুর ব্যাস $= 2r = 2 \times 1·466 \times 10^{-8} = 2·932 \times 10^{-8}$ সেমি।

(4) 0°C উষ্ণতায় 100 atm চাপে 1 মোল একটি ভান্ডারওয়াল গ্যাসের সংনম্যতা ফ্যাক্টর হল 0·5. গ্যাসের অণুগুলির আয়তন নগণ্য ধরে ভান্ডারওয়ালের a ধ্রুবকটির মান নির্ণয় করো।

Ans. সংনম্যতা ফ্যাক্টর $Z = PV/nRT$ বা, $0·5 = \frac{100 \times V}{1 \times 0·082 \times 273}$ বা, $V = 0·1119L$

1 মোল গ্যাসের ক্ষেত্রে $(P + a/V^2)(V - b) = RT$. b কে উপেক্ষা করে পাই, $(P + a/V^2)\ V = RT$

বা, $PV + \frac{a}{V} = RT$ বা, $\frac{PV}{RT} + \frac{a}{VRT} = 1$ বা, $a = \left(1 - \frac{PV}{RT}\right) VRT$

বা, $a = (1 - 0·5) \times 0·1119 \times 0·082 \times 273$ বা, $a = 1·252$ atm L^2 mol^{-2}

(5) 30°C উষ্ণতায় 5 atm চাপে অ্যামোনিয়ার ঘনত্ব নির্ণয় করো।

Ans. ধরি, NH_3-এর ঘনত্ব $= d$, ভর $= m$, আণবিক গুরুত্ব $= M$

$$PV = nRT \quad \text{বা, } PV = \frac{m}{M} RT \quad \text{বা, } P = \frac{m}{V} \times \frac{RT}{M} = \frac{dRT}{M} \quad \text{বা, } d = \frac{PM}{RT}$$

মানগুলি বসিয়ে $d = \frac{5 \times 17}{0·082 \times 303} = 3·42$ g/litre

(6) 27°C উষ্ণতায় আছে এমন একটি খোলা পাত্রকে উত্তপ্ত করা হল যতক্ষণ পর্যন্ত না ওর আয়তনের 3/5 অংশ গ্যাস বেরিয়ে যায়। কোন্ উষ্ণতায় পাত্রটিকে উত্তপ্ত করা হয়েছিল? ধরে নাও পাত্রের আয়তন স্থির।

Ans. যেহেতু পাত্রটির মুখ খোলা সুতরাং এক্ষেত্রে চাপ P স্থির এবং আয়তন V স্থির থাকে। প্রাথমিক উষ্ণতা $T_1 = 27 + 273 = 300$ K. ধরি, 300 K উষ্ণতায় গ্যাসের মধ্যে n_1 মোল গ্যাস আছে। উত্তপ্ত করার ফলে 3/5 অংশ গ্যাস বেরিয়ে যায়। যেহেতু মোল সংখ্যা গ্যাসের আয়তনের সমানুপাতিক, সুতরাং $n_1 = 1$ মোল হলে, উত্তপ্ত করার পর পাত্রের মধ্যে উপস্থিত মোল সংখ্যা $= 1 - \frac{3}{5} = \frac{2}{5}$ মোল। ধরি, শেষ উষ্ণতা $= T_2$

এক্ষেত্রে $PV = n_1RT_1$. আবার, $PV = n_2RT_2$। যেহেতু PV উভয় ক্ষেত্রে সমান সুতরাং $n_1T_1 = n_2T_2$

বা, $1 \times 300 = \frac{2}{5} \times T_2$ বা, $T_2 = \frac{5 \times 300}{2} = 750 \text{ K} = 750 - 273 = 477°\text{C}$.

(7) যে উষ্ণতায় 28 g N_2 গ্যাসের আয়তন 2·46 atm চাপে 10 L হবে, সেই উষ্ণতাটি নির্ণয় করো।

Ans. 28 g N_2 = এক মোল N_2 গ্যাস। এখানে $n = 1$, $P = 2{\cdot}46$ atm

$V = 10L$, $R = 0{\cdot}0821$ এখন $PV = nRT$ সমীকরণে মানগুলি বসিয়ে,

$2{\cdot}46 \times 10 = 1 \times 0{\cdot}0821 \times T$ বা, $T = \frac{2{\cdot}46 \times 10}{0{\cdot}0821} = 299{\cdot}6$ K

● <u>আংশিক চাপ সংক্রান্ত</u> ঃ

(8) বাতাসের মধ্যে এক ভাগ আয়তনের অক্সিজেন এবং চার ভাগ আয়তনের নাইট্রোজেন আছে। বাতাসের মোট চাপ 760 mm; অক্সিজেন ও নাইট্রোজেনের আংশিক চাপ কত?

Ans. ধরি, O_2-এর আংশিক চাপ $= P_O$, N_2-এর আংশিক চাপ $= P_N$ এবং বাতাসের মোট চাপ $= P$.

$P = P_O + P_N$ বা, $760 \text{ mm} = P_O + P_N$

অক্সিজেনের 1 আয়তন $= V_O$, N_2-এর 4 আয়তন $= V_N$

বয়েলের সূত্রানুযায়ী, $V_O \times P = P_O(V_O + V_N)$

$\therefore P_O = \frac{V_O P}{V_O + V_N} = \frac{1 \times 760}{1 + 4} \text{ mm} = \frac{760}{5} \text{ mm} = 152 \text{ mm}$

আবার, $V_N \times P = P_N(V_O + V_N)$ $\therefore P_N = \frac{V_N \times P}{V_O + V_N} = \frac{4 \times 760}{5} \text{ mm} = 608 \text{ mm}$

(9) 500 ml আয়তনের একটি পাত্রে 300 ml N_2 গ্যাস এবং 200 ml CO_2 ভরা আছে। N_2-এর চাপ 200 mm এবং CO_2-এর চাপ 400 mm। মিশ্র গ্যাসের চাপ কত?

Ans. পাত্রটি আয়তন $V = 500$ ml

N_2-এর চাপ $P_1 = 200$ mm, CO_2-এর চাপ $P_2 = 400$ mm

N_2-এর আয়তন $V_1 = 300$ ml, CO_2-এর আয়তন $V_2 = 200$ ml

ধরি, N_2-এর আংশিক চাপ $= P_N$ এবং CO_2-এর আংশিক চাপ $= P_C$

$\therefore$ বয়েলের সূত্রানুযায়ী, $V_1 \times P_1 = P_N(V_1 + V_2)$ বা, $P_N = \frac{V_1 \times P_1}{V_1 + V_2} = \frac{300 \times 200}{300 + 200} \text{ mm} = 120 \text{ mm}$

আবার, $V_2 \times P_2 = P_C(V_1 + V_2)$ $P_C = \frac{V_2 \times P_2}{V_1 + V_2} = \frac{200 \times 400}{300 + 200} = 160 \text{ mm}$

মিশ্র চাপ $P = P_N + P_C = (120 + 160) \text{ mm} = 280 \text{ mm}$।

(10) 2 g হাইড্রোজেন এবং 8 g অক্সিজেনের একটি মিশ্রণ 27°C তাপমাত্রায় 20 litre একটি পাত্রে রক্ষিত আছে। ওই গ্যাস মিশ্রণের মোট চাপ কত?

Ans. $2 \text{ g } H_2 = \frac{2}{2} = 1$ মোল H_2, 8 গ্রাম $O_2 = \frac{8}{32} = 0{\cdot}25$ মোল O_2

গ্যাস মিশ্রণের আয়তন $(V) = 20$ লিটার, তাপমাত্রা $T = (273 + 27) = 300$ K

সার্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক $R = 0{\cdot}082$ লি অ্যাটমোস্ফিয়ার মোল$^{-1}$ K^{-1}

আমরা জানি, $PV = nRT$ বা, $P = \frac{nRT}{V}$

$\therefore$ H_2 গ্যাসের আংশিক চাপ = $\frac{1 \times 0{\cdot}082 \times 300}{20} = 1{\cdot}23$ অ্যাটমোস্ফিয়ার

O_2 গ্যাসের আংশিক চাপ = $\frac{0{\cdot}25 \times 0{\cdot}082 \times 300}{20} = 0{\cdot}3075$ অ্যাটমোস্ফিয়ার

গ্যাস মিশ্রণের মোট চাপ = $(1{\cdot}23 + 0{\cdot}3075) = 1{\cdot}5375$ অ্যাটমোস্ফিয়ার।

(11) A এবং B দুটি গ্যাসের মিশ্রণে 0·495 g A এবং 0·182 g B আছে। A এবং B-এর আণবিক ওজন যথাক্রমে 66 এবং 45·5. গ্যাস মিশ্রণটির মোট চাপ = 762 mm। A এবং B গ্যাস দুটির অংশ চাপ নির্ণয় করো।

Ans. $0{\cdot}495$ g $A = \frac{0{\cdot}495}{66} = 0{\cdot}0075$ মোল A এবং $0{\cdot}182$ g $B = \frac{0{\cdot}182}{45{\cdot}5} = 0{\cdot}004$ মোল B

সুতরাং A-এর অংশ চাপ $P_A = \frac{0{\cdot}0075 \times 762}{0{\cdot}0075 + 0{\cdot}004} = 497$ mm

B-এর অংশ চাপ $P_B = 762 - 497 = 265$ mm

(12) 25°C উষ্ণতায় একটি বায়ুশূন্য ফ্লাস্কের মধ্যে 2 g A গ্যাস ভর্তি করায় চাপ হল 1 atm. এই অবস্থায় 3 g B গ্যাস ওই একই ফ্লাস্কের মধ্যে প্রবেশ করানো হলে মোট চাপ 1·5 atm হয় তাহলে M_A এবং M_B-এর অনুপাত নির্ণয় করো যেখানে M_A এবং M_B হল যথাক্রমে A এবং B গ্যাসের আণবিক গুরুত্ব।

Ans. A গ্যাসের চাপ = 1 atm সুতরাং B গ্যাসের চাপ = $1{\cdot}5 - 1 = 0{\cdot}5$ atm

2 g A গ্যাস = $2/M_A$ মোল এবং 3 g B গ্যাস = $3/M_B$ মোল।

আমরা জানি, $PV = nRT$

সুতরাং A গ্যাসের ক্ষেত্রে $PV = \frac{2}{M_A} RT$ এবং B গ্যাসের ক্ষেত্রে $PV = \frac{3}{M_B} RT$

$\therefore M_A = \frac{2RT}{PV} = \frac{2RT}{1 \times V}$ এবং $M_B = \frac{3RT}{PV} = \frac{3RT}{0{\cdot}5 \times V}$

$\therefore M_A / M_B = \frac{2RT}{V} \times \frac{0{\cdot}5V}{3RT} = \frac{1}{3}$ $\quad \therefore M_A : M_B = 1 : 3$

● <u>গ্যাসের ব্যাপন সংক্রান্ত</u> :

(13) 16 ml হাইড্রোজেন 30 সেকেন্ডে ব্যাপিত হয়। একই অবস্থায় এবং ওই একই সময়ে কী আয়তন SO_2 ব্যাপিত হবে?

Ans. ধরি, 30 সেকেন্ডে x ml SO_2 ব্যাপিত হয়। H_2-এর ব্যাপনের হার $r_1 = \frac{16}{30}$

SO_2-এর ব্যাপনের হার $r_2 = \frac{x}{30}$, H_2-এর আপেক্ষিক ঘনত্ব $d_1 = 1$

SO_2-এর আপেক্ষিক ঘনত্ব $d_2 = \frac{\text{আণবিক গুরুত্ব}}{2} = \frac{64}{2} = 32$

$\therefore \frac{r_1}{r_2} = \sqrt{d_2 / d_1}$ $\quad$ বা, $\frac{16}{30} \Big/ \frac{x}{30} = \sqrt{32}$

বা, $\frac{16}{x} = 4\sqrt{2}$ $\quad$ বা, $x = \frac{4}{\sqrt{2}} = 2\sqrt{2}$ ml $= 2{\cdot}8284$ ml

(14) S.T.P.-তে H_2 এবং O_2-এর মিশ্রণে H_2-এর ব্যাপন হার যদি 1 ml/s হয়, তাহলে 1 গ্রাম-অণু O_2-এর ব্যাপন হতে কত সময় লাগবে?

Ans. ধরি, H_2 এবং O_2-এর ব্যাপন হার যথাক্রমে r_1 এবং r_2, H_2 এবং O_2-এর আণবিক ওজন যথাক্রমে M_1 এবং M_2.

তাহলে, ব্যাপনের সূত্রানুযায়ী, $\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$ $\quad$ বা, $r_2 = \frac{r_1\sqrt{M_1}}{\sqrt{M_2}} = 1 \times \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{32}}$ $\quad$ বা, $r_2 = \frac{1}{4}$ ml/s

তাহলে দেখা যায় $\frac{1}{4}$ ml O_2 ব্যাপন হতে সময় লাগে = 1 s, তাহলে এক গ্রাম-অণু বা 22400 ml O_2 ব্যাপন হতে সময় লাগে 22400×4 s = 89600 s।

(15) একটি সূক্ষ্ম ছিদ্রের ভিতর দিয়ে 432 ml একটি গ্যাস A-এর বের হতে সময় লাগে 36 মি। আবার 288 ml অন্য একটি গ্যাস B, ওই একই ছিদ্র দিয়ে একই চাপ ও উষ্ণতায় বের হতে সময় লাগে 48 মি। B-এর আণবিক ওজন 64 হলে A-এর আণবিক ওজন কত?

Ans. ধরি, A-গ্যাসের ব্যাপনের হার $= r_1$; B গ্যাসের হার $= r_2$

$r_1 = \frac{432}{36 \times 60} = 0{\cdot}2$ ml/s; $\quad r_2 = \frac{288}{48 \times 60} = 0{\cdot}1$ ml/s

A-এর আণবিক ওজন $= M_1$ এবং B-এর আণবিক ওজন $= M_2$ হলে,

ব্যাপনের সূত্রানুযায়ী, $\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$ বা, $\frac{0{\cdot}2}{0{\cdot}1} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$ বা, $\sqrt{M_1} = \frac{0{\cdot}1\sqrt{M_2}}{0{\cdot}2} = \frac{0{\cdot}1\sqrt{64}}{0{\cdot}2} = 4$ বা, $M_1 = 16$

(16) একটি সচ্ছিদ্র পাত্রের ভেতর থেকে 800 ml Cl_2 গ্যাস ব্যাপিত হয় 120 সেকেন্ডে। ওই একই পাত্রের মধ্য দিয়ে 200 ml O_2 গ্যাস ব্যাপিত হয় 20·14 সেকেন্ডে। Cl_2-এর বাষ্পঘনত্ব এবং আণবিক গুরুত্ব নির্ণয় করো। O_2-এর আণবিক গুরুত্ব = 32.

Ans. Cl_2-এর ব্যাপন-হার $= r_1 = \frac{800}{120} = \frac{20}{3}$ ml/s, $\quad O_2$-এর ব্যাপন হার $= r_2 = \frac{200}{20{\cdot}14}$ ml/s

ধরি, Cl_2-এর আণবিক গুরুত্ব $= M_1$; $\quad O_2$-এর আণবিক গুরুত্ব $= M_2 = 32$

$\therefore$ সূত্রানুযায়ী, $\frac{r_1}{r_2} = \frac{\sqrt{M_2}}{\sqrt{M_1}}$ $\quad$ বা, $\frac{20 \times 20{\cdot}14}{3 \times 200} = \frac{\sqrt{32}}{\sqrt{M_1}}$ $\quad$ বা, $M_1 = 71{\cdot}00$

$\therefore$ Cl_2-এর আণবিক গুরুত্ব $= 71$ $\quad$ এবং $\quad$ বাষ্পঘনত্ব $= \frac{\text{আণবিক গুরুত্ব}}{2} = \frac{71}{2} = 35{\cdot}5$

(17) A এবং B দুটি গ্যাসের ব্যাপন হারের অনুপাত 0·29 : 0·271. B গ্যাসের আপেক্ষিক ঘনত্ব 25 (H = 1) হলে A-এর আপেক্ষিক ঘনত্ব এবং আণবিক ওজন নির্ণয় করো।

Ans. ধরি, A এবং B গ্যাসের ব্যাপন হার যথাক্রমে r_1 এবং r_2 এবং আপেক্ষিক ঘনত্ব যথাক্রমে D_1 এবং D_2 হলে,

সূত্রানুযায়ী, $\frac{r_1}{r_2} = \frac{\sqrt{D_2}}{\sqrt{D_1}}$ $\quad$ বা, $\frac{0{\cdot}29}{0{\cdot}271} = \frac{\sqrt{25}}{\sqrt{D_1}}$ $\quad$ বা, $\sqrt{D_1} = \frac{\sqrt{25} \times 0{\cdot}271}{0{\cdot}29} = 4{\cdot}67$ বা, $D_1 = 21{\cdot}8$

অর্থাৎ, A-এর আপেক্ষিক ঘনত্ব $= 21{\cdot}8$ $\qquad \therefore$ আণবিক গুরুত্ব $= 2 \times 21{\cdot}8 = 43{\cdot}6$

(18) কার্বন ডাই-অক্সাইডের আপেক্ষিক ঘনত্ব = 22, কোনো ছিদ্রের মধ্য দিয়ে 100 ml CO_2 ব্যাপিত হয়। একই অবস্থায় এবং একই সময় যদি 96 ml ওজোন ওই ছিদ্রের মধ্য দিয়ে ব্যাপিত হয় তাহলে ওজোনের আপেক্ষিক ঘনত্ব কত?

Ans. ধরি, ওজোনের আপেক্ষিক ঘনত্ব $= d$ এবং ধরি, t সময়ে 96 ml ওজোন ছিদ্রের মধ্য দিয়ে ব্যাপিত হয়।

$\therefore$ ওজোনের ব্যাপন হার $= \frac{96}{t}$ ml/s, $\qquad CO_2$-এর ব্যাপন হার $= \frac{100}{t}$ ml/s

গ্রাহামের সূত্র থেকে, $\quad \frac{CO_2\text{-এর ব্যাপন হার}}{\text{ওজোনের ব্যাপন হার}} = \sqrt{\frac{\text{ওজোনের ঘনত্ব}}{CO_2\text{-এর ঘনত্ব}}}$

বা, $\frac{100}{96} = \sqrt{\frac{d}{22}}$ $\quad$ বা, $d = \frac{100 \times 100 \times 22}{96 \times 96} = 23{\cdot}87$

$\therefore$ ওজোনের আপেক্ষিক ঘনত্ব $= 23{\cdot}87$

(19) গ্যাসীয় অবস্থায় $^{235}UF_6$ এবং $^{238}UF_6$-এর আপেক্ষিক ব্যাপনের হার নির্ণয় করো। (F = 19)

Ans. $^{235}UF_6$-এর আণবিক ওজন $M_1 = 235 + 6 \times 19 = 349$,

$^{238}UF_6$-এর আণবিক ওজন $M_2 = 238 + 6 \times 19 = 352$

ধরি, $^{235}UF_6$ গ্যাসের ব্যাপনের হার $= r_1$ এবং $^{238}UF_6$ গ্যাসের ব্যাপনের হার $= r_2$

$\therefore \frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{m_2}{m_1}} = \sqrt{\frac{352}{349}} = 1{\cdot}0043$; $^{235}UF_6$-এর ব্যাপনের হার $^{238}UF_6$-এর ব্যাপনের হারের 1·0043 গুণ বেশি হবে।

(20) কোনো আয়তনের গ্যাস মিশ্রণে অক্সিজেন এবং ওজোন আছে। মিশ্রণটিতে ওজোনের পরিমাণ 20% (আয়তনে)। কোনো সচ্ছিদ্র পাত্রের মধ্য দিয়ে গ্যাস মিশ্রণটি 175 সেকেন্ডে ব্যাপিত হয়। একই অবস্থায় সম আয়তন অক্সিজেন 167 সেকেন্ডে ব্যাপিত হয় ওজোনের আপেক্ষিক ঘনত্ব নির্ণয় করো। অক্সিজেনের আপেক্ষিক ঘনত্ব = 16.

Ans. ধরি, গ্যাস মিশ্রণটির আয়তন $= V$ ml.

$\therefore$ গ্যাস মিশ্রণের ব্যাপন হার $r_1 = \frac{V}{175}$ ml/s, $\qquad$ অক্সিজেনের ব্যাপন হার $r_2 = \frac{V}{167}$ ml/s

অক্সিজেনের ঘনত্ব $d_1 = 16$, ওজোনের ঘনত্ব $= d_2$ এবং গ্যাস মিশ্রণের ঘনত্ব d ধরি।

এখন গ্রাহামের সূত্র থেকে, $\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{16}{d}}$ বা, $\frac{167}{175} = \sqrt{\frac{16}{d}}$ বা, $d = \frac{16 \times 175 \times 175}{167 \times 167} = 17.57$

এখন গ্যাস মিশ্রণে 80% O_2 এবং 20% O_3 আছে।

$\therefore d = \frac{16 \times 80}{100} + \frac{d_2 \times 20}{100}$ বা, $17.57 = \frac{16 \times 80}{100} + \frac{d_2 \times 20}{100}$ বা, $17.57 \times 10 = 128 + 2d_2$

বা, $175.7 - 128 = 2d_2$ বা, $d_2 = \frac{47.7}{2} = 23.85$

$\therefore$ ওজোনের আপেক্ষিক ঘনত্ব $= 23.85$

• অনুশীলনী •

[A] অতিসংক্ষিপ্ত উত্তরভিত্তিক প্রশ্ন ঃ

1. n মোল আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে অবস্থার সমীকরণটি প্রকাশ করো। **2.** গ্যাস ধ্রুবকের S.I এককে মানটি লেখ। **3.** সংনম্যতা ধ্রুবক কাকে বলে? **4.** বাস্তব গ্যাসের ক্ষেত্রে অবস্থার সমীকরণটি কী? **5.** ছিদ্র ব্যাপন কাকে বলে? **6.** পরম উষ্ণতা কাকে বলে? **7.** সার্বিক গ্যাস ধ্রুবকের মান L atm-এ কত? **8.** বাস্তব গ্যাস ও প্রকৃত গ্যাসের মধ্যে পার্থক্য কী?

[B] সংক্ষিপ্ত উত্তরভিত্তিক প্রশ্ন ঃ

1. বয়েলের সূত্রটি বিবৃত করো এবং লেখচিত্রের সাহায্যে এর সত্যতা প্রমাণ করো।

2. চার্লসের সূত্রটি বিবৃত করো এবং ব্যাখ্যা করো। এই সূত্র থেকে কীভাবে পরম শূন্যের ধারণা পাওয়া যায় বুঝিয়ে দাও।

3. চাপ-উষ্ণতা সূত্রটি বিবৃত করো এবং ব্যাখ্যা দাও।

4. আদর্শ গ্যাস সমীকরণটি প্রতিষ্ঠা করো। আদর্শ গ্যাস ধ্রুবক R-এর প্রকৃতি কী? S.I. এককে R-এর মান নির্ণয় করো।

5. গ্যাসের আংশিক চাপ বলতে কী বোঝায়? ডালটনের আংশিক চাপ সূত্রটি বিবৃত করো।

6. গ্রাহামের ব্যাপন সূত্রটি বিবৃত করো। এই সূত্র থেকে কীভাবে একটি গ্যাসের বাষ্পঘনত্ব এবং আণবিক গুরুত্ব নির্ণয় করা যায়, বুঝিয়ে দাও।

7. $PV = nRT$ সমীকরণ থেকে, একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় দেখাও যে গ্যাসের ঘনত্ব d ওর চাপের সমানুপাতিক।

8. **(i)** গ্যাসের চাপ, আয়তন ও ঘনত্বের সম্পর্ক কী? **(ii)** স্থির উষ্ণতায় PV-কে কোটি এবং P-কে ভুজ করে, **(iii)** স্থির চাপে V-কে কোটি এবং T-কে ভুজ করে, প্রতিটি ক্ষেত্রে লেখচিত্রের নমুনা কেমন হবে দেখাও।

9. উষ্ণতার পরম স্কেল এবং পরম শূন্য কী? চার্লসের সূত্র থেকে কীভাবে পরম শূন্যের ধারণা পাওয়া যায়?

10. উষ্ণতার পরম স্কেলের সাহায্যে চার্লসের সূত্র, চাপের সূত্র এবং ঘনত্বের সূত্র ব্যাখ্যা করো। পরম উষ্ণতা কাকে বলে? একটি গ্যাসের আয়তনের সঙ্গে পরম উষ্ণতার সম্পর্ক আলোচনা করো।

11. **(a)** গ্যাসের ব্যাপন কী? গ্রাহামের ব্যাপন সূত্র বিবৃত করো এবং ব্যাখ্যা করো।

(b) ছিদ্র ব্যাপন (Effusion) কী? এর সাহায্যে কীভাবে গ্যাসের আণবিক ওজন নির্ণয় করা যায়?

(a) কোনো গ্যাসের **(i)** এক গ্রাম অণু, **(ii)** n গ্রাম অণু, **(iii)** x গ্রাম পরিমাণের অবস্থার সমীকরণ কীভাবে পাওয়া যায় দেখাও।

(b) আদর্শ গ্যাস এবং প্রকৃত গ্যাস কলতে কী বোঝ? **(c)** 'R'-কে সার্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক বলে কেন?

12. **(a)** একটি নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের উষ্ণতা এবং চাপের পরিবর্তন একসঙ্গে ঘটালে ওর ঘনত্বের কী রকম পরিবর্তন হবে? **(b)** বয়েল সূত্র, চার্লস সূত্র এবং অ্যাভোগাড্রো প্রকল্পের মিলিত প্রয়োগে কীভাবে কোনো গ্যাসীয় পদার্থের আণবিক গুরুত্ব নির্ণয় করা যায়? **(c)** R-এর মান বিভিন্ন এককে প্রকাশ করো।

[C] রচনাভিত্তিক প্রশ্ন ঃ

1. নীচের প্রতিটি ক্ষেত্রে লেখচিত্রের নমুনা কেমন হবে—

(a) স্থির উষ্ণতায় PV-কে কোটি এবং P-কে ভুজ ধরে, **(b)** স্থির চাপে 'V'-কে কোটি এবং P-কে ভুজ ধরে।

2. **(a)** $PV = RT$ সমীকরণ থেকে R-এর একক নির্ণয় করো। R-কে সার্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক বলা হয় কেন? যেকোনো এককে R-এর মান নির্ণয় করো। **(b)** স্থির উষ্ণতায় P-এর সাপেক্ষে PV লেখচিত্র অঙ্কন করলে লেখটির প্রকৃতি কীরূপ হবে?

3. গ্যাসের আণবিক গতিতত্ত্বের মূল স্বীকার্যগুলি লেখো।

4. আদর্শ গ্যাস এবং বাস্তব গ্যাস বলতে কী বোঝায়? সংনম্যতা ফ্যাক্টর বলতে কী বোঝ? আদর্শ গ্যাসের আচরণ থেকে বাস্তব গ্যাসের বিচ্যুতির কারণ বুঝাতে সংনম্যতা ফ্যাক্টরের গুরুত্ব বুঝিয়ে দাও।

5. আদর্শ গ্যাসের আচরণ থেকে বাস্তব গ্যাসের বিচ্যুতির কারণ কী? বাস্তব গ্যাসের ক্ষেত্রে অবস্থার সমীকরণটি প্রকাশ করো।

6. ভান্ডারওয়ালের সমীকরণটি লিখে চাপ ও উষ্ণতার বিভিন্ন অবস্থায় বাস্তব গ্যাসের আচরণ সম্বন্ধে আলোচনা করো।

7. গ্যাসের তরলীকরণ বলতে কী বোঝ? লিন্ডের পদ্ধতিতে একটি গ্যাসের তরলীকরণ পদ্ধতি সংক্ষেপে লেখো।

8. গ্যাসের গতিতত্ত্বের প্রধান স্বীকার্যগুলি লেখো।

9. বায়ুমণ্ডলীয় চাপ এবং গ্যাসের চাপ কী ভাবে পরিমাপ করা হয়?

10. ডালটনের আংশিক সূত্রটি বিবৃত করো এবং ব্যাখ্যা করো। আর্দ্র গ্যাস থেকে এই সূত্রের সাহায্যে কীভাবে শুষ্ক গ্যাসের চাপ নির্ণয় করা যায়?

11. গ্রাহামের সূত্রটি বিবৃত করো। সূত্রটির গাণিতিক রূপটি প্রতিষ্ঠা করো।

12. বাস্তব গ্যাস এবং আদর্শ গ্যাস বলতে কী বোঝ? সংনমত্য ধ্রুবক কাকে বলে? আদর্শ গ্যাসের আচরণ থেকে বাস্তব গ্যাসের বিচ্যুতির ব্যাখ্যা করতে এই ধ্রুবকটি কীভাবে সাহায্য করে?

● **গাণিতিক প্রশ্ন ঃ**

1. অক্সিজেন এবং ক্লোরিন গ্যাসের একটি মিশ্রণে 0·71 g ক্লোরিন এবং 0·64 g অক্সিজেন আছে। মিশ্রণের মোট চাপ 750 mm হলে ক্লোরিন এবং অক্সিজেনের অংশ চাপ কত? [*Ans.* P_{Cl} = 250 mm, P_O = 500 mm]

2. 25°C তাপমাত্রায় 760 mm চাপে সংগৃহীত 100 ml অক্সিজেন এবং 100 ml নাইট্রোজেনকে 100 ml আয়তনের পাত্রে মেশান হল। তাপমাত্রা 25°C স্থির রাখলে গ্যাস মিশ্রণটির চাপ কত হবে? [*Ans.* 1520 mm]

3. 27°C উষ্ণতায় 2 g H_2 এবং 4 g N_2 একটি 4 লিটার আয়তনের পাত্রে রক্ষিত আছে। গ্যাস মিশ্রণটির মোট চাপ নির্ণয় করো। মিশ্রণটিতে উপস্থিত H_2 এবং N_2-এর পরিমাণ মোল পার্সেন্ট এককে প্রকাশ করো।

[*Ans.* মোট চাপ = 6·936 অ্যাটমস, H_2 = 8·75%, N_2 = 12·5%]

4. দুটি গ্যাস সিলিন্ডার একটি স্টপ কক দিয়ে যুক্ত করা আছে। একটি সিলিন্ডারের আয়তন 10 লিটার এবং এর মধ্যে 27°C উষ্ণতায় এবং 2 Atm চাপে O_2 গ্যাস ভর্তি আছে। অপর সিলিন্ডারের আয়তন 20 লিটার, এর মধ্যে একই উষ্ণতায় এবং 3 Atm চাপে N_2 গ্যাস আছে। উষ্ণতা একই রেখে স্টপকক খুলে দেওয়া হল। গ্যাস মিশ্রণে O_2 এবং N_2-এর অংশ চাপ নির্ণয় করো এবং গ্যাস মিশ্রণের মোট চাপ নির্ণয় করো। [*Ans.* P_O = 00·66 atmos, P_N = 2 atmos, মোট চাপ = 2·66 atmos]

5. 303 K উষ্ণতা এবং 10^{-3} mm চাপে 2 লিটার আয়তনের একটি ফ্লাস্কের মধ্যে সমমোলার N_2 এবং জলীয় বাষ্প আছে। এর থেকে নীচেরগুলির উত্তর দাও—**(a)** ফ্লাস্কের N_2 এবং জলীয় বাষ্পের গ্রাম-অণুর সংখ্যা কত? **(b)** গ্যাস মিশ্রণের মোট ভর কত? **(c)** মিশ্রণের উষ্ণতা 100 K-তে আনা হলে ভরের কি পরিবর্তন হবে?

[*Ans.* (a) N_2-এর জলীয় বাষ্পের গ্রাম অণু সংখ্যা = 5·29 × 10^{-8} **(b)** মিশ্রণের মোট ভর = 2·43 × 10^{-6} g. (c) পরিবর্তন হবে না]

6. একটি গ্যাসীয় হাইড্রোকার্বনে 14·28% H_2 আছে—বাকীটা কার্বন। H_2-এর সঙ্গে ব্যাপনের হার তুলনা করলে উভয়ের ব্যাপন হারের অনুপাত 14 ঃ $\sqrt{14}$. হাইড্রোকার্বনটির সঙ্কেত নির্ণয় করো। [*Ans.* C_2H_4]

7. 180 ml মিথেন (আঃ গুরুত্ব = 16) একটি পাত্রের সূক্ষ্ম ছিদ্র পথ দিয়ে অভিব্যাপিত হতে 15 মিনিট সময় লাগে। সম অবস্থায় একই পাত্র থেকে 120 ml SO_2 অভিব্যাপ্তি হতে 20 মিনিট সময় লাগে। SO_2-এর আণবিক গুরুত্ব কত? [*Ans.* 64]

8. O_2-এর সঙ্গে অপর একটি গ্যাস মিশ্রিত আছে। ওই মিশ্রণের ব্যাপনের ফলে উৎপন্ন গ্যাসের মধ্যে 61·77% O_2 পাওয়া যায়। অপর গ্যাসটির আণবিক গুরুত্ব নির্ণয় করো। [*Ans.* 83·54]

9. 1·0 g হাইড্রোজেন 4·0 g অক্সিজেনের একটি মিশ্রণ 27°C তাপমাত্রায় 20·0 লিটার আয়তনের একটি পাত্রে রক্ষিত আছে। পাত্রটির অভ্যন্তরের মোট চাপ এবং হাইড্রোজেন ও অক্সিজেনের আংশিক চাপ নির্ণয় করো।

[*Ans.* P = 0·769 Atm, P_{H_2} = 0·615 Atm, P_{O_2} = 0·154 Atm]

10. সমান ওজনের দুটি গ্যাস *A* এবং *B* একই চাপ ও তাপমাত্রায় দুটি পৃথক পাত্রে রক্ষিত আছে। *A* এবং *B*-র আণবিক গুরুত্বের অনুপাত 2 ঃ 3 হলে পাত্র দুটির আয়তনের অনুপাত কত হবে? [*Ans.* 3 ঃ 2]

11. 273 K উষ্ণতায় 76 সেমি চাপে 0·64 গ্রাম কোন গ্যাসের আয়তন 224 ml. কোন উষ্ণতায় গ্যাসটির এক গ্রাম, এক অ্যাটমস্ফিয়ার চাপে এক লিটার আয়তন অধিকার করবে? [*Ans.* 780 K]

12. চাপে অনমনীয় একটি পদার্থ সহ কিছু পরিমাণ গ্যাসের আয়তন 760 mm চাপে 100 cm^3 এবং 1000 mm চাপে 80 cm^3। কঠিন পদার্থটির আয়তন নির্ণয় করো। [*Ans.* 16·67 cc]

13. সমান উষ্ণতা ও চাপে একটি সচ্ছিদ্র প্লাগের মধ্যে দিয়ে নির্দিষ্ট আয়তন বিশুদ্ধ অক্সিজেনের এবং সম আয়তন ওজোনিত অক্সিজেনের ব্যাপন সংঘটিত হয় যথাক্রমে 224 মিনিট এবং 235 মিনিটে। ওজোনিত অক্সিজেন আয়তনিক হিসাবে 20% ওজোন আছে। বিশুদ্ধ ওজোনের আণবিক গুরুত্ব কত? [*Ans.* 48·09]

14. 1 atmos চাপে একটি গ্যাস মিশ্রণে শতকরা 80 ভাগ নাইট্রোজেন ও 20 ভাগ অক্সিজেন আছে। প্রত্যেকটির আংশিক চাপ কত?

[*Ans.* P_O = 152 mm, P_N = 608 mm]

15. 100 ml O_2 75 সেকেন্ডে ব্যাপিত হয়। **(i)** একই অবস্থায় কত আয়তন SO_2 একই সময় ব্যাপিত হবে? **(ii)** এক গ্রাম অণু CO_2 ব্যাপনের জন্য কত সময়ের প্রয়োজন? [*Ans.* (i) 85·28 ml, (ii) 5 ঘন্টা 28 মি. 19·8 সে]

7 পর্যায়-সারণি এবং রাসায়নিক পরিবার [Periodic Table & Chemical Families]

সূচনা [Introduction]

আজ পর্যন্ত যতগুলি মৌল আবিষ্কৃত হয়েছে সেই মৌলগুলির এবং ওই মৌলগুলি থেকে উৎপন্ন বিপুল সংখ্যক যৌগের ধর্ম মনে রাখা অসম্ভব। এই মৌলগুলির ভৌত এবং রাসায়নিক ধর্ম মনে রাখার জন্য একটি বৈজ্ঞানিক উপায় আবিষ্কারের চেষ্টা চলছিল অনেক আগে থেকেই। পর্যায়-সারণির সূচনা প্রকৃতপক্ষে একটি ঐতিহাসিক ক্রমবিকাশ। **ডোবারিনার, নিউল্যান্ড এবং মেন্ডেলিয়েভ** প্রমুখ বিজ্ঞানীদের বিভিন্ন ভাবধারার ঐতিহাসিক ফল হল আজকের **আধুনিক পর্যায়-সারণি,** যা বিভিন্ন মৌলের ভৌত এবং রাসায়নিক ধর্ম অনুশীলনের অন্যতম অপরিহার্য হাতিয়ার।

1869 খ্রিস্টাব্দে **মেন্ডেলিয়েভ** (Mendeleyev) এবং **লোথার মেয়ার** (Lothar Meyer) মৌলগুলিকে তাদের ক্রমবর্ধমান পারমাণবিক গুরুত্ব অনুসারে সাজিয়ে প্রায় একই সঙ্গে বিখ্যাত **পর্যায়-সূত্র** (Periodic Law) প্রকাশ করেন।

পর্যায় সূত্রটি হল—**বিভিন্ন মৌলের ভৌত এবং রাসায়নিক ধর্মগুলি ওদের পারমাণবিক গুরুত্ব বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে পর্যায়ক্রমে পুনরাবৃত্ত হয়।**

বিভিন্ন মৌলগুলিকে ক্রমবর্ধমান পারমাণবিক গুরুত্ব অনুসারে পর পর সাজালে, মৌলগুলির ধর্ম এক মৌল থেকে অন্য মৌলে নিয়মিতভাবে পরিবর্তিত হতে হতে একটা নির্দিষ্ট সংখ্যার ব্যবধানের পর যে মৌলটি আসে, সেই মৌলে ধর্মগুলির আবার পুনরাবৃত্তি হতে দেখা যায়। একটা নির্দিষ্ট পর্যায় পার হয়ে যেসব মৌল একই শ্রেণিতে পড়ে তাদের ভৌত ও রাসায়নিক ধর্মের অনেক মিল দেখা যায়।

● **পর্যায়** (Period) ঃ মেন্ডেলিয়েভ ক্রমবর্ধমান পারমাণবিক গুরুত্ব অনুসারে সাজিয়ে মৌলগুলিকে পর পর কতকগুলি অনুভূমিক (Horizontal) পঙ্ক্তিতে রাখেন। এইভাবে সাজাবার ফলে যে অনুভূমিক পঙ্ক্তিগুলি পাওয়া যায় সেগুলিকে **পর্যায়** বা **পিরিয়ড** (Period) বলে।

● **শ্রেণি** (Group) ঃ ক্রমবর্ধমান পারমাণবিক গুরুত্ব অনুসারে মৌলগুলিকে পর পর কতকগুলি অনুভূমিক পঙ্ক্তিতে রাখার ফলে দেখা যায় সদৃশ ধর্মের মৌলগুলি এক একটি **উল্লম্ব** (Vertical) পঙ্ক্তিতে অবস্থান করে। পর্যায়-সারণিতে এই উল্লম্ব পঙ্ক্তিগুলিকে **শ্রেণি** (Group) বলে।

প্রথম থেকে অষ্টম শ্রেণিকে I থেকে VIII পর্যন্ত রোমান হরফের সংখ্যা দিয়ে প্রকাশ করা হয়। অষ্টম শ্রেণির পরের শ্রেণিকে '0' দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

[নিষ্ক্রিয় গ্যাসগুলি তখনো আবিষ্কার না হওয়ার জন্য মেন্ডেলিয়েভের পর্যায় সারণিতে কোনো শূন্য গ্রুপ ছিল না।]

7.1. পারমাণবিক সংখ্যার উপর ভিত্তি করে আধুনিক পর্যায় সূত্র [Modern periodic law based on Atomic number]

বর্তমানে পরমাণুর সঠিক গঠন এবং ইলেকট্রন বিন্যাস জানার পর মেন্ডেলিয়েভের পর্যায় সারণির ত্রুটিগুলির কারণ জানা গেছে। মেন্ডেলিয়েভ ভেবেছিলেন যে মৌলের পারমাণবিক গুরুত্বই হল মৌলের মূলগত ধর্ম। তাই তিনি মৌলগুলিকে ক্রমবর্ধমান পারমাণবিক গুরুত্ব অনুসারে পর্যায়-সারণিতে স্থান দিয়েছিলেন। কিন্তু আইসোটোপ আবিষ্কারের পর জানা গেল যে, একই মৌলের বিভিন্ন পারমাণবিক গুরুত্ব থাকতে পারে যদিও ওদের রাসায়নিক ধর্ম একই থাকে। এর দ্বারা পরিষ্কারভাবে প্রমাণিত হল যে, পারমাণবিক গুরুত্ব মৌলের মূলগত ধর্ম নয়। 1813 খ্রিস্টাব্দে ইংরেজ বৈজ্ঞানিক **মোসলে** পরমাণুর রঞ্জন রশ্মি বর্ণালির ওপর নানা পরীক্ষার দ্বারা প্রমাণ করেন যে, পারমাণবিক গুরুত্বের চেয়ে পারমাণবিক সংখ্যা মৌলকে চিহ্নিত করার ক্ষেত্রে আরও বেশি কার্যকরী অর্থাৎ **পারমাণবিক সংখ্যা বা নিউক্লিয়াসে প্রোটনের সংখ্যা দ্বারাই মৌলের প্রকৃত ধর্ম নির্ণীত হয়।** অতএব **পারমাণবিক সংখ্যাই হল মৌলের মূলগত ধর্ম।** এটাও বোঝা গেল যে, **কোনো মৌলের পারমাণবিক সংখ্যাই হল পর্যায়-সারণিতে মৌলটির ক্রমিক সংখ্যা।** পারমাণবিক সংখ্যার হ্রাস বা বৃদ্ধি হলে নতুন মৌলের সৃষ্টি হয়। সেজন্য বর্তমানে মৌলগুলিকে ওদের ক্রমবর্ধমান পারমাণবিক গুরুত্বের পরিবর্তে ক্রমবর্ধমান পারমাণবিক সংখ্যা অনুসারে পর্যায়-সারণিতে স্থান

দেওয়া হয়েছে এবং পর্যায়-সূত্রটিরও পরিবর্তন করা হয়েছে। সুতরাং বলা যায়, পারমাণবিক গুরুত্ব নয়, পারমাণবিক সংখ্যাই হল মৌলগুলির পর্যায়বৃত্তির সঠিক নির্ণায়ক।

● **আধুনিক পর্যায়-সূত্র ঃ বিভিন্ন মৌলের ভৌত ও রাসায়নিক ধর্মগুলি, মৌলগুলির পারমাণবিক সংখ্যা বৃদ্ধির সাথে সাথে পর্যায়ক্রমে পুনরাবৃত্ত হয়।**

ক্রমবর্ধমান পারমাণবিক সংখ্যা অনুসারে বিভিন্ন মৌলগুলিকে পর্যায়-সারণিতে স্থান দেওয়ার ফলে দেখা গেল, কোনো মৌলের পারমাণবিক সংখ্যা যত, পর্যায়-সারণিতে মৌলটি তত সংখ্যক ঘরে স্থান পায়। এই হিসাবে হাইড্রোজেনের পারমাণবিক সংখ্যা 1, তাই হাইড্রোজেন এক নম্বর ঘরে স্থান পেয়েছে। হাইড্রোজেন থেকে শুরু করে এক এক করে বৃদ্ধি পেয়ে শেষে 92 নম্বর ঘরে ইউরেনিয়াম (পাঃ সংখ্যা 92) স্থান পেয়েছে। ইউরেনিয়ামের পর আরও 17টি কৃত্রিম মৌল আবিষ্কৃত হয়েছে। পারমাণবিক সংখ্যা অনুসারে সহজেই পর্যায়-সারণিতে ওদের স্থান দেওয়া সম্ভব হয়েছে।

● **পর্যায়বৃত্তির কারণ** (Causes of periodicity) ঃ আধুনিক পর্যায়-সূত্র অনুসারে বিভিন্ন মৌলের ভৌত এবং রাসায়নিক ধর্মগুলি মৌলগুলির পারমাণবিক সংখ্যা বৃদ্ধির সাথে সাথে পর্যায়ক্রমে পুনরাবৃত্ত হয়।

আবার পরমাণুর গঠনে বিভিন্ন মৌলের ইলেকট্রন বিন্যাসে দেখা যায় যে, মৌলের পারমাণবিক সংখ্যা বৃদ্ধির সাথে সাথে একটি নির্দিষ্ট ব্যবধানের পর মৌলগুলির সবচেয়ে বাইরের কক্ষের ইলেকট্রন বিন্যাসের পুনরাবৃত্তি হয়। এই দুটি ঘটনার মধ্যে সমন্বয় এনে বলা যায়—

বিভিন্ন মৌলগুলিকে ওদের ক্রমবর্ধমান পারমাণবিক সংখ্যা অনুযায়ী পর পর সাজালে মৌলগুলির ধর্ম এক মৌল থেকে অন্য মৌলে নিয়মিতভাবে পরিবর্তিত হতে থাকে। ধর্মগুলি এইভাবে পরিবর্তিত হতে হতে একটি নির্দিষ্ট সংখ্যার ব্যবধানের পর যে মৌলটি আসে, তার যোজন কক্ষের ইলেকট্রন বিন্যাসে, এই মৌলটির ঠিক উপরে থাকা মৌলটির যোজন কক্ষে উপস্থিত ইলেকট্রন বিন্যাসের পুনরাবৃত্তি ঘটতে দেখা যায়। তাই, এই মৌলের মধ্যে, তার ঠিক উপরে একই শ্রেণিতে অবস্থান করা মৌলটির ধর্মগুলির আবার পুনরাবৃত্তি হতে দেখা যায়। এই কারণে একটি নির্দিষ্ট পর্যায় অতিক্রম করে যে সব মৌলগুলি একই শ্রেণিতে পড়ে তাদের ধর্মে অনেক মিল দেখা যায়।

ক্ষার ধাতুর ইলেকট্রন বিন্যাস

পর্যায়	চিহ্ন	পাঃ সংখ্যা	ইলেকট্রন বিন্যাস
2	Li	3	[He] $2s^1$
3	Na	11	[Ne] $3s^1$
4	K	19	[Ar] $4s^1$
5	Rb	37	[Kr] $5s^1$
6	Cs	55	[Xe] $6s^1$
7	Fr	87	[Rn] $7s^1$

এই দুটি ঘটনার মধ্যে সমন্বয় এনে বলা যায় যে, বিভিন্ন মৌলের ধর্মগুলির পর্যায়ক্রমে পুনরাবৃত্তি হওয়ার কারণ হল, ওই মৌলগুলির পরমাণুর সবচেয়ে বাইরের কক্ষের ইলেকট্রন বিন্যাস একই রকম হয়। যেমন Gr.I A অন্তর্ভুক্ত ক্ষার ধাতুগুলির ধর্মের মিল থাকার কারণ হল ওদের সর্ববহিস্থ কক্ষের ইলেকট্রন বিন্যাস একরকম যা এখানে টেবিলে দেখানো হল।

সুতরাং দেখা গেল সবচেয়ে বাইরের কক্ষের ইলেকট্রন বিন্যাস এক রকম হওয়ার জন্য ক্ষার ধাতুগুলির ধর্মে মিল থাকে। টেবিল থেকে দেখা যায় যে 2 নং পর্যায়ের Li-এর ধর্মের পুনরাবৃত্তি ঘটে পরের পর্যায়ের Na-এতে। অনুরূপে Na-এর ধর্মের পুনরাবৃত্তি ঘটে পরের পর্যায়ের K-তে ইত্যাদি।

7.2. পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাসের উপর ভিত্তি করে আধুনিক পর্যায় সারণি—গ্রুপ এবং পর্যায় [Modern periodic table based on electronic, configurations—groups and periods]

আধুনিক পর্যায় সূত্রানুযায়ী, মেন্ডেলিয়েভের পর্যায়-সারণিকে অনুসরণ করে এবং মৌলগুলির ইলেকট্রন বিন্যাসের উপর ভিত্তি করে আধুনিক অর্থাৎ **দীর্ঘ গঠনের পর্যায় সারণি বা বোরের পর্যায়-সারণি** রচিত হয়েছে।

আধুনিক পর্যায় সারণির বর্ণনা ঃ

পর্যায় (period)—**আধুনিক পর্যায় সারণিতে ক্রমবর্ধমান পারমাণবিক সংখ্যা অনুযায়ী বিভিন্ন মৌলগুলিকে পর পর অনুভূমিক পঙ্ক্তিতে সাজালে যে সাতটি অনুভূমিক পঙ্ক্তি পাওয়া যায় সেগুলিকে পর্যায় বা পিরিয়ড বলে।** আধুনিক পর্যায় সারণিতে 7টি পর্যায়কে উপর থেকে নীচে যথাক্রমে 1, 2, 3, 4, 5. 6 এবং 7 নম্বর দিয়ে প্রকাশ করা হয়। প্রতি পর্যায়ে যে মৌলগুলি স্থান পায়, সেই মৌলগুলির সবচেয়ে বাইরের মুখ্যশক্তি স্তরের সংখ্যা (n) ও পর্যায় সংখ্যা একই হয়। নূতন আর একটি মুখ্যশক্তি স্তরে ইলেকট্রন ভর্তি হওয়ার শুরু থেকে নূতন একটি পর্যায় আরম্ভ হয়।

[1] **শ্রেণি বা গ্রুপ** (Series or Group) ঃ **ক্রমবর্ধমান পারমাণবিক সংখ্যা অনুসারে বিভিন্ন মৌলগুলিকে পর পর**

আধুনিক দীর্ঘ পর্যায় সারণি

← s ব্লক মৌল → | d - ব্লক মৌল (সন্ধিগত মৌল) | p- ব্লক মৌল

যে উপকক্ষগুলি পূর্ণ হয়	পর্যায়	প্রধান কক্ষ	1 IA	2 IIA	3 IIIB	4 IVB	5 VB	6 VIB	7 VIIB	8 VIII	9 VIII	10 VIII	11 IB	12 IIB	13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA	18 0-গ্রুপ
1s	1	K (n=1)	1 H (1) $1s^1$																	2 He (2) $1s^{-2}$
2s 2p	2	K (n=1) L (n=2)	3 Li (2, 1) $2s^1$	4 Be (2, 2) $2s^2$											5 B (2, 3) $2s^2 2p^1$	6 C (2, 4) $2s^2 2p^2$	7 N (2, 5) $2s^2 2p^3$	8 O (2, 6) $2s^2 2p^4$	9 F (2, 7) $2s^2 2p^5$	10 Ne (2, 8) $2s^2 2p^6$
3s 3p	3	K (n=1) L (n=2) M (n=3)	11 Na (2, 8, 1) $3s^1$	12 Mg (2, 8, 2) $3s^2$											13 Al (2, 8, 3) $3s^2 3p^1$	14 Si (2, 8, 4) $3s^2 3p^2$	15 P (2, 8, 5) $3s^2 3p^3$	16 S (2, 8, 6) $3s^2 3p^4$	17 Cl (2, 8, 7) $3s^2 3p^5$	18 Ar (2, 8, 8) $3s^2 3p^6$
4s 3d 4p	4	K (n=1) L → M → N (n=4)	19 K (2, 8, 8, 1) $4s^1$	20 Ca (2, 8, 8, 2) $4s^2$	21 Sc (2, 8, 9, 2) $3d^1 4s^2$	22 Ti (2, 8, 10, 2) $3d^2 4s^2$	23 V (2, 8, 11, 2) $3d^3 4s^2$	24 Cr (2, 8, 13, 1) $3d^5 4s^1$	25 Mn (2, 8, 13, 2) $3d^5 4s^2$	26 Fe (2, 8, 14, 2) $3d^6 4s^2$	27 Co (2, 8, 15, 2) $3d^7 4s^2$	28 Ni (2, 8, 16, 2) $3d^8 4s^2$	29 Cu (2, 8, 18, 1) $3d^{10} 4s^1$	30 Zn (2, 8, 18, 2) $3d^{10} 4s^2$	31 Ga (2, 8, 18, 3) $3d^{10} 4s^2 4p^1$	32 Ge (2, 8, 18, 4) $3d^{10} 4s^2 4p^2$	33 As (2, 8, 18, 5) $3d^{10} 4s^2 4p^3$	34 Se (2, 8, 18, 6) $3d^{10} 4s^2 4p^4$	35 Br (2, 8, 18, 7) $3d^{10} 4s^2 4p^5$	36 Kr (2, 8, 18, 8) $3d^{10} 4s^2 4p^6$
5s 4d 5p	5	K (n=1) L → M → N → O (n=5)	37 Rb (2, 8, 18, 8, 1) $5s^1$	38 Sr (2, 8, 18, 8, 2) $5s^2$	39 Y (2, 8, 18, 9, 2) $4d^1 5s^2$	40 Zr (2, 8, 18, 10, 2) $4d^2 5s^2$	41 Nb (2, 8, 18, 12, 1) $4d^4 5s^1$	42 Mo (2, 8, 18, 13, 1) $4d^5 5s^1$	43 Tc (2, 8, 18, 13, 2) $4d^5 5s^2$	44 Ru (2, 8, 18, 15, 1) $4d^7 5s^1$	45 Rh (2, 8, 18, 16, 1) $4d^8 5s^1$	46 Pd (2, 8, 18, 18, 0) $4d^{10} 5s^0$	47 Ag (2, 8, 18, 18, 1) $4d^{10} 5s^1$	48 Cd (2, 8, 18, 18, 2) $4d^{10} 5s^2$	49 In (2, 8, 18, 18, 3) $4d^{10} 5s^2 5p^1$	50 Sn (2, 8, 18, 18, 4) $4d^{10} 5s^2 5p^2$	51 Sb (2, 8, 18, 18, 5) $4d^{10} 5s^2 5p^3$	52 Te (2, 8, 18, 18, 6) $4d^{10} 5s^2 5p^4$	53 I (2, 8, 18, 18, 7) $4d^{10} 5s^2 5p^5$	54 Xe (2, 8, 18, 18, 8) $4d^{10} 5s^2 5p^6$
6s $5d^1$ $4f^1$ $5d^{2-10}$ 6p	6	K (n=1) L → M → N → O → P (n=6)	55 Cs (2, 8, 18, 18, 8, 1) $6s^1$	56 Ba (2, 8, 18, 18, 8, 2) $6s^2$	57 La* (2, 8, 18, 18, 9, 2) $5d^1 6s^2$	72 Hf (2, 8, 18, 32, 10, 2) $4f^{14} 5d^2 6s^2$	73 Ta (2, 8, 18, 32, 11, 2) $4f^{14} 5d^3 6s^2$	74 W (2, 8, 18, 32, 12, 2) $4f^{14} 5d^4 6s^2$	75 Re (2, 8, 18, 32, 13, 2) $4f^{14} 5d^5 6s^2$	76 Os (2, 8, 18, 32, 14, 2) $4f^{14} 5d^6 6s^2$	77 Ir (2, 8, 18, 32, 14, 2) $4f^{14} 5d^7 6s^2$	78 Pt (2, 8, 18, 32, 17, 1) $4f^{14} 5d^9 6s^1$	79 Au (2, 8, 18, 32, 18, 1) $4f^{14} 5d^{10} 6s^1$	80 Hg (2, 8, 18, 32, 18, 2) $4f^{14} 5d^{10} 6s^2$	81 Tl (2, 8, 18, 32, 18, 3) $4f^{14} 5d^{10} 6s^2 6p^1$	82 Pb (2, 8, 18, 32, 18, 4) $4f^{14} 5d^{10} 6s^2 6p^2$	83 Bi (2, 8, 18, 32, 18, 5) $4f^{14} 5d^{10} 6s^2 6p^3$	84 Po (2, 8, 18, 32, 18, 6) $4f^{14} 5d^{10} 6s^2 6p^4$	85 At (2, 8, 18, 32, 18, 7) $4f^{14} 5d^{10} 6s^2 6p^5$	86 Rn (2, 8, 18, 32, 18, 8) $4f^{14} 5d^{10} 6s^2 6p^6$
7s $6d^1$ $5f^1$ $6d^{2-7}$	7	K (n=1) L → M → N → O → P → Q (n=7)	87 Fr (2, 8, 18, 32, 18, 8, 1) $7s^1$	88 Ra (2, 8, 18, 32, 18, 8, 2) $7s^2$	89 Ac** (2, 8, 18, 32, 18, 9, 2) $6d^1 7s^2$	104 Rf (2, 8, 18, 32, 32, 10, 2) $5f^{14} 6d^2 7s^2$	105 Db (2, 8, 18, 32, 32, 11, 2) $5f^{14} 6d^3 7s^2$	106 Sg (2, 8, 18, 32, 32, 12, 2) $5f^{14} 6d^4 7s^2$	107 Bh (2, 8, 18, 32, 32, 13, 2) $5f^{14} 6d^5 7s^2$	108 Hs (2, 8, 18, 32, 32, 14, 2) $5f^{14} 6d^6 7s^2$	109 Mt (2, 8, 18, 32, 32, 14, 2) $5f^{14} 6d^7 7s^2$									

f - ব্লক মৌল

	প্রধান কক্ষ														
* বিরলমৃত্তিকা বা ল্যান্থানাইড (4f-series)	K (n=1) L → M → N → O → P (n=6)	58 Ce (2, 8, 18, 20, 8, 2) $4f^1 5d^1 6s^2$	59 Pr (2, 8, 18, 21, 8, 2) $4f^3 5d^0 6s^2$	60 Nd (2, 8, 18, 22, 8, 2) $4f^4 5d^0 6s^2$	61 Pm (2, 8, 18, 23, 8, 2) $4f^5 5d^0 6s^2$	62 Sm (2, 8, 18, 24, 8, 2) $4f^6 5d^0 6s^2$	63 Eu (2, 8, 18, 25, 8, 2) $4f^7 5d^0 6s^2$	64 Gd (2, 8, 18, 25, 9, 2) $4f^7 5d^1 6s^2$	65 Tb (2, 8, 18, 27, 8, 2) $4f^9 5d^0 6s^2$	66 Dy (2, 8, 18, 28, 8, 2) $4f^{10} 5d^0 6s^2$	67 Ho (2, 8, 18, 29, 8, 2) $4f^{11} 5d^0 6s^2$	68 Er (2, 8, 18, 30, 8, 2) $4f^{12} 5d^0 6s^2$	69 Tm (2, 8, 18, 31, 8, 2) $4f^{13} 5d^0 6s^2$	70 Yb (2, 8, 18, 32, 8, 2) $4f^{14} 5d^0 6s^2$	71 Lu (2, 8, 18, 32, 9, 2) $4f^{14} 5d^1 6s^2$
** অ্যাক্টিনাইড (5f-series)	K (n=1) L → M → N → O → P → Q (n=7)	90 Th (2, 8, 18, 32, 18, 10, 2) $5f^0 6d^2 7s^2$	91 Pa (2, 8, 18, 32, 20, 9, 2) $5f^2 6d^1 7s^2$	92 U (2, 8, 18, 32, 21, 9, 2) $5f^3 6d^1 7s^2$	93 Np (2, 8, 18, 32, 22, 9, 2) $5f^4 6d^1 7s^2$	94 Pu (2, 8, 18, 32, 24, 8, 2) $5f^6 6d^0 7s^2$	95 Am (2, 8, 18, 32, 25, 8, 2) $5f^7 6d^0 7s^2$	96 Cm (2, 8, 18, 32, 25, 9, 2) $5f^7 6d^1 7s^2$	97 Bk (2, 8, 18, 32, 27, 8, 2) $5f^9 6d^0 7s^2$	98 Cf (2, 8, 18, 32, 28, 8, 2) $5f^{10} 6d^0 7s^2$	99 Es (2, 8, 18, 32, 29, 8, 2) $5f^{11} 6d^0 7s^2$	100 Fm (2, 8, 18, 32, 30, 8, 2) $5f^{12} 6d^0 7s^2$	101 Md (2, 8, 18, 32, 31, 8, 2) $5f^{13} 6d^0 7s^2$	102 No (2, 8, 18, 32, 32, 8, 2) $5f^{14} 6d^0 7s^2$	103 Lr (2, 8, 18, 32, 32, 9, 2) $5f^{14} 6d^1 7s^2$

কতকগুলি অনুভূমিক পঙ্‌ক্তিতে রাখার ফলে দেখা গেল, যে মৌলগুলির সবচেয়ে বাইরের কক্ষের ইলেকট্রন বিন্যাস একরকম হয়, তারা সদৃশ ধর্মের হয়—এই সদৃশধর্মী মৌলগুলি এক একটি উল্লম্ব (vertical) পঙ্‌ক্তিতে পড়ে যায়। পর্যায় সারণির এই উল্লম্ব পঙ্‌ক্তিগুলিকে শ্রেণি বা গ্রুপ বলা হয়।

(i) আধুনিক দীর্ঘ পর্যায় সারণিতে 18টি উল্লম্ব পঙ্‌ক্তি বা গ্রুপ থাকে। প্রতি শ্রেণিতে, যে মৌলগুলির যোজন কক্ষের ইলেকট্রন বিন্যাস একরকম হয়, সেই মৌলগুলি স্থান পায়। এই গ্রুপগুলিকে 1 থেকে 18 সংখ্যার দ্বারা প্রকাশ করা হয়। মেন্ডেলিয়েভের পর্যায় সারণির সংশোধিত রূপে, এই 18টি গ্রুপকে 16টি গ্রুপে ভাগ করা হয়েছিল। যেমন, IA, IIA, (IIIA—VIIA) এবং 0 গ্রুপ IB, IIB, (IIIB—VIIB), VIII গ্রুপ। গ্রুপগুলিকে চিহ্নিত করার এই দুই পদ্ধতি নীচে প্রদত্ত পর্যায় সারণিতে দেখানো হয়েছে।

● আধুনিক পর্যায় সারণি ●

	← s-ব্লক →												← p-ব্লক					→
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	ns^1	ns^2	$[(n-1)d^{1-10}s^{1-2}]$										ns^2p^1	ns^2p^2	ns^2p^3	ns^2p^4	ns^2p^5	ns^2p^6
গ্রুপ পর্যায়	IA	IIA	IIIB	IVB	VB	VIB	VIIB	VIII			IB	IIB	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	0
1	H 1 সক্রিয় ধাতু												ধাতু, অধাতু এবং ধাতুকল্প					He 2
2	Li 3	Be 4											B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10
3	Na 11	Mg 12	← d - ব্লক সন্ধিগত মৌল →										Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18
4	K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36
5	Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54
6	Cs 55	Ba 56	La* 57	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86
7	Fr 87	Ra 88	Ac** 89	Rf 104	Db 105	Sg 106	Bh 107	Hs 108	Mt 109	Uun 110								

← f-ব্লক →

6	* বিরল মৃত্তিকা মৌল বা ল্যান্থানাইডস	Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71
7	** অ্যাক্টিনাইডস	Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Cf 98	Es 99	Fm 100	Md 101	No 102	Lr 103

IUPAC সংকেত ও নাম	বর্তমান নাম ও সংকেত		IUPAC সংকেত ও নাম	বর্তমান নাম ও সংকেত	
104 Unq উননিল কোয়াডিয়াম	রাদারফোর্ডিয়াম	Rf	107 Uns উননিল সেপটিয়াম	বোরিয়াম	Bh
105 Unp উননিল পেন্‌টিয়াম	ডাবনিয়াম	Db	108 Uno উননিল অক্‌টিয়াম	হ্যাসিয়াম	Hs
106 Unh উননিল হেক্সিয়াম	সীবরজিয়াম	Sg	109 Une উননিল ইনিয়াম	মাইটনেরিয়াম	Mt

(ii) প্রথম দুটি গ্রুপ অর্থাৎ গ্রুপ 1 এবং 2-তে s উপকক্ষটি ইলেকট্রন দ্বারা পূর্ণ হয় এবং পর্যায়-সারণির শেষের 6টি গ্রুপ অর্থাৎ 13–18 (বাম দিকে অবস্থান করে) এই গ্রুপগুলির মৌলে সর্ববহিস্থ কক্ষের p উপকক্ষগুলি ইলেকট্রন দ্বারা ভর্তি হয়। এই 8টি গ্রুপের অর্থাৎ 1, 2, 13, 14, 15, 16, 17 এবং 18 গ্রুপের মৌলগুলিকে **স্বাভাবিক বা আদর্শ মৌল** বলে। এই গ্রুপগুলির অন্তর্ভুক্ত মৌলগুলির যোজন কক্ষের ইলেকট্রন বিন্যাস যথাক্রমে ns^1, ns^2, ns^2np^1, ns^2np^2, ns^2np^3, ns^2np^4, ns^2np^5, ns^2np^6। গ্রুপ 18-এর (ns^2np^6) মৌলগুলি হল **নিষ্ক্রিয় গ্যাস বা নোবল গ্যাস**।

(iii) 3 থেকে 12 পর্যন্ত গ্রুপগুলিতে যে মৌলগুলি থাকে, তাদের **সন্ধিগত মৌল** (Transition elements) বলা হয়। যেহেতু এই মৌলগুলির বামদিকে খুব সক্রিয় ধাতু (ক্ষার এবং ক্ষারীয় মৃত্তিকা ধাতু) এবং ডানদিকে সক্রিয় অধাতুর (হ্যালোজেন, চ্যালকোজেন) মাঝে অবস্থান করে, তাই সন্ধিগত মৌলগুলির ধর্ম হল খুব সক্রিয় ধাতু এবং সক্রিয় অধাতুর ধর্মের মাঝামাঝি হয়। এই মৌলগুলির যোজন কক্ষে (ns) এবং যোজন কক্ষের ঠিক আগের কক্ষে ($n-1$) d ইলেকট্রন ভর্তি অসম্পূর্ণ থাকে। **12 গ্রুপের মৌলগুলির যোজন কক্ষের ns উপকক্ষ এবং যোজন কক্ষের আগের কক্ষটি ($n-1$) d ইলেকট্রন দ্বারা সম্পূর্ণ ভর্তি থাকে।**

(iv) দুটি সারির মৌলগুলিকে পর্যায়-সারণির নীচের দিকে স্থান দেওয়া হয়েছে। প্রথম সারিটিতে 14টি মৌল থাকে—$_{58}$Ce থেকে আরম্ভ করে $_{71}$Lu-এ গিয়ে শেষ হয়। এই মৌলগুলিকে **বিরল মৃত্তিকা বা ল্যান্থানাইডস** বলে। দ্বিতীয় সারিটির মধ্যেও 14টি মৌল থাকে—$_{90}$Th থেকে আরম্ভ করে $_{103}$Lr-এ গিয়ে শেষ হয়। এই দ্বিতীয় সারির মৌলগুলিকে **অ্যাক্টিনাইডস** বলে।

এই দুটি সারির মৌলের সবচেয়ে বাইরের কক্ষ (n) এবং সবচেয়ে বাইরের কক্ষের ঠিক আগের কক্ষটি ($n-1$) অসম্পূর্ণ থাকা সত্ত্বেও ($n-2$) কক্ষের f উপকক্ষটি ইলেকট্রন দ্বারা পূর্ণ হতে থাকে। এই দুই সারির মৌলের সাধারণ ইলেকট্রন বিন্যাস হল—$(n-2)f^{0-14}\,(n-1)d^{0-1}\,ns^2$।

[2] পর্যায় (Period) **:** ক্রমবর্ধমান পারমাণবিক সংখ্যা অনুসারে বিভিন্ন মৌলগুলিকে পর্যায়-সারণিতে স্থান দেওয়ার ফলে দেখা গেল **মৌলগুলির পর্যায়বৃত্ত ধর্মের সঙ্গে মৌলগুলির পরমাণুর ইলেকট্রন-বিন্যাসের একটা গভীর সম্পর্ক আছে।**

(i) পর্যায়-সারণিতে পর পর সজ্জিত মৌলগুলির পারমাণবিক সংখ্যা এক এক করে বৃদ্ধি পায়—এর মানে হল মৌলগুলির পরমাণুতে ইলেকট্রন-সংখ্যাও ক্রমান্বয়ে বৃদ্ধি পায়। এখন ইলেকট্রনগুলি বিভিন্ন কক্ষে স্থান নেওয়ার সময় মুখ্যস্তরের s, p, d ইত্যাদি উপকক্ষগুলি ক্রমে ইলেকট্রন দ্বারা ভর্তি হতে থাকে। কোনো মুখ্যস্তরের p উপকক্ষ ইলেকট্রন দ্বারা পূর্ণ হলে পরের মুখ্যস্তরের s উপকক্ষে ইলেকট্রন প্রবেশ করে। আধুনিক পর্যায়-সূত্র অনুযায়ী বলা যায় যে, **পর্যায়-সারণিতে মৌলের ক্রম, পরমাণুর বিভিন্ন উপকক্ষগুলির শক্তির ক্রম অনুযায়ী হওয়া উচিত।**

(ii) মৌলগুলির রাসায়নিক ধর্ম নির্ভর করে পরমাণুর সবচেয়ে বাইরের কক্ষের বিভিন্ন উপকক্ষে ইলেকট্রন-বিন্যাসের উপর। সুতরাং বাইরের মুখ্যস্তরে একটি করে ইলেকট্রন বৃদ্ধি পাওয়ার অর্থই হল ধাপে ধাপে রাসায়নিক ধর্মের পরিবর্তন।

(iii) হাইড্রোজেন থেকে শুরু করে পর পর মৌলগুলির পরমাণুর ইলেকট্রন-বিন্যাস গড়ে উঠেছে একটি করে ইলেকট্রন যুক্ত হয়ে। প্রত্যেক মুখ্যস্তরের উপকক্ষগুলিতে একটি করে ইলেকট্রন যুক্ত হতে থাকে যতক্ষণ পর্যন্ত না উপকক্ষগুলি ইলেকট্রন দ্বারা সম্পূর্ণ ভর্তি হচ্ছে। উপকক্ষগুলি ইলেকট্রন দ্বারা পূর্ণ হলে পর একটি পর্যায় শেষ হয়। তখন আবার পরের মুখ্যস্তর যুক্ত হয় এবং এই নূতন মুখ্যস্তরের বিভিন্ন উপকক্ষগুলিতে ইলেকট্রন-পূর্তির পুনরাবৃত্তি ঘটে, ফলে মৌলগুলির রাসায়নিক ধর্মেরও পুনরাবৃত্তি ঘটে পর্যায়ক্রমে। সুতরাং দেখা গেল মৌলগুলির পর্যায়বৃত্ত ধর্মের সঙ্গে ওদের পরমাণুর ইলেকট্রন-বিন্যাসের একটি ঘনিষ্ঠ সম্পর্ক আছে।

এখন বিভিন্ন পর্যায় এবং গ্রুপের অন্তর্ভুক্ত মৌলগুলির ইলেকট্রন-বিন্যাস বিচার করে দেখা যাক—

(1) প্রথম পর্যায় : এই পর্যায়ে প্রথম মুখ্যশক্তি স্তরটিতে ($n = 1$) ইলেকট্রন দ্বারা ভর্তি হওয়া আরম্ভ হয় গ্রুপ IA-এর হাইড্রোজেন দিয়ে ($H \rightarrow 1s^1$) এবং শেষ হয় 0 বা 18 গ্রুপের হিলিয়াম দিয়ে ($He \rightarrow 1s^2$)। এই দুটি মৌলের সবচেয়ে বাইরের কক্ষ-সংখ্যা $n = 1$—এই কক্ষে একমাত্র s উপকক্ষ আছে যার মধ্যে 2টির বেশি ইলেকট্রন থাকতে পারে না। যেহেতু He-এর s উপকক্ষটি 2টি ইলেকট্রন দ্বারা ভর্তি হয়ে যায় তাই প্রথম পর্যায়ে 2টির বেশি মৌল থাকতে পারে না, তাই প্রথম পর্যায়ে H এবং He ছাড়া অন্য কোনো মৌল নেই।

(2) দ্বিতীয় পর্যায় : এই পর্যায়ে দ্বিতীয় মুখ্যশক্তি স্তরে ($n = 2$) ইলেকট্রন ভর্তি হওয়া আরম্ভ হয়। দ্বিতীয় মুখ্যস্তরে ($n = 2$) 2টি উপকক্ষ থাকে—$2s$ এবং $2p$; এই পর্যায়ের অন্তর্ভুক্ত মৌলগুলির পরমাণুর সবচেয়ে বাইরের কক্ষের ইলেকট্রন বিন্যাস $2s^1$ থেকে আরম্ভ করে $2s^2 2p^{0-6}$ পর্যন্ত যে-কোনো রূপ হতে পারে। এই পর্যায়ে অবস্থিত কোনো মৌলের সবচেয়ে বাইরের কক্ষে যত সংখ্যক ইলেকট্রন থাকে, পর্যায়-সারণিতে মৌলটির স্থান 10 + তত সংখ্যক গ্রুপে হয়।

এই পর্যায়ে ইলেকট্রন ভর্তি হওয়া আরম্ভ হয় Li($1s^2 2s^1$) দিয়ে এবং Ba($2s^2$)-তে গিয়ে $2s$ উপকক্ষটি ইলেকট্রন দ্বারা সম্পৃক্ত হয়। এরপর B থেকে $2p$ উপকক্ষে ইলেকট্রন ভর্তি হওয়া শুরু হয় এবং C, N, O প্রভৃতি মৌলগুলির $2p$ উপকক্ষটি ক্রমান্বয়ে ইলেকট্রন দ্বারা পূর্ণ হতে থাকে—শেষে Ne-তে গিয়ে $2p$ উপকক্ষটি ইলেকট্রন দ্বারা সম্পূর্ণ ভর্তি হলেই দ্বিতীয় মুখ্যশক্তি স্তরটি

($n = 2$) ইলেকট্রন দ্বারা সম্পৃক্ত হয়। সুতরাং দ্বিতীয় পর্যায়ে মোট 8টি মৌলের স্থান হয়—Li($1s^1 2s^1$) থেকে আরম্ভ করে Ne($1s^2 2s^2 2p^6$)-তে গিয়ে শেষ হয়।

	1	2	13	14	15	16	17	18
শ্রেণি→	IA	IIA	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	0
পর্যায় 2	$_3$Li	$_4$Be	$_5$B	$_6$C	$_7$N	$_8$O	$_9$F	$_{10}$Ne
ইলেকট্রন বিন্যাস	$1s^2 2s^1$	$1s^2 2s^2$	$1s^2 2s^2 2p^1$	$1s^2 2s^2 2p^2$	$1s^2 2s^2 2p^3$	$1s^2 2s^2 2p^4$	$1s^2 2s^2 2p^5$	$1s^2 2s^2 2p^6$

দ্বিতীয় পর্যায়ের মৌলগুলির ইলেকট্রন-বিন্যাস

(3) তৃতীয় পর্যায় ঃ Ne-এর পর তৃতীয় পর্যায় আরম্ভ হয়। তৃতীয় মুখ্যশক্তি স্তরে ($n = 3$) s, p, d—এই 3টি উপকক্ষ আছে। এই পর্যায়ে তৃতীয় মুখ্যশক্তি স্তরটিতে ($n = 3$) ইলেকট্রন ভর্তি হওয়া শুরু হয় সোডিয়াম Na($1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$)-কে দিয়ে এবং Mg($3s^2$)-তে গিয়ে $3s$ উপকক্ষটি ইলেকট্রন দ্বারা সম্পৃক্ত হয়। এর পর Al থেকে $3p$ উপকক্ষে ইলেকট্রন ভর্তি হওয়া শুরু হয় এবং Si, P, S প্রভৃতি মৌলগুলির $3p$ উপকক্ষটি ক্রমান্বয়ে ইলেকট্রন দ্বারা পূর্ণ হতে থাকে—শেষে Ar ($3s^2 3p^6$)-এ গিয়ে $3p$ উপকক্ষটি ইলেকট্রন দ্বারা সম্পূর্ণ ভর্তি হলেই তৃতীয় মুখ্যশক্তি স্তরে ($n = 3$) ইলেকট্রন ভর্তি হওয়া সম্পূর্ণ হয়। সুতরাং তৃতীয় পর্যায়ে মোট 8টি মৌলের স্থান হয়—Na ($3s^1$) থেকে আরম্ভ করে Ar ($3s^2 3p^6$)-এ গিয়ে শেষ হয়।

	1	2	13	14	15	16	17	18
শ্রেণি→	IA	IIA	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	0
পর্যায় 3	$_{11}$Na	$_{12}$Mg	$_{13}$Al	$_{14}$Si	$_{15}$P	$_{16}$S	$_{17}$Cl	$_{18}$Ar
বাইরের কক্ষের e-বিন্যাস	$3s^1$	$3s^2$	$3s^2 3p^1$	$3s^2 3p^2$	$3s^2 3p^3$	$3s^2 3p^4$	$3s^2 3p^5$	$3s^2 3p^6$

তৃতীয় পর্যায়ের মৌলগুলির সবচেয়ে বাইরের কক্ষের ইলেকট্রন-বিন্যাস

তৃতীয় মুখ্যস্তরে ($n = 3$) সর্বোচ্চ ইলেকট্রন ধারণ ক্ষমতা $= 2 \times 3^2 = 18$। কিন্তু এই পর্যায়ে যে মৌলগুলি স্থান পায় তাদের সর্ব বাইরের কক্ষটি হল তৃতীয় মুখ্যস্তর—সর্ব বাইরের কক্ষে 8টির বেশি ইলেকট্রন থাকে না, সেইজন্য এই পর্যায়ে 8টির বেশি মৌল স্থান পায় না। $_{11}$Na—$1s^2\ 2s^2\ 2p^2\ 3s^1$ থেকে শুরু করে $_{18}$Ar—$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6$-এ শেষ হয়।

(4) চতুর্থ পর্যায়—$_{18}$Ar-এর পর যখন 1টি করে ইলেকট্রন যুক্ত হয়, তখন যেহেতু $4s$ উপকক্ষের শক্তি $3d$-এর চেয়ে কম তাই—$3d$ উপকক্ষটিকে (সর্বোচ্চ ইলেকট্রন ধারণ ক্ষমতা = 10) ভর্তি না করেই $4s$ উপকক্ষটিতে ইলেকট্রন ভর্তি হতে থাকে, তাই $_{19}$K থেকে চতুর্থ পর্যায় আরম্ভ হয়। $_{20}$Ca-তে $4s$ উপকক্ষটি পূর্ণ হয়ে যায়, তখন পরের মৌলগুলিতে $3d$ উপকক্ষ ক্রমশ পূর্ণ হতে শুরু করে। এইভাবে পরপর 10টি মৌলে $3d$ উপকক্ষ ক্রমে পূর্ণ হতে থাকে। তাই এই পর্যায়ে, আগের পর্যায়ের চেয়ে 10টি মৌল বেশি থাকে। Ca-এর পর $_{21}$Sc থেকে $3d$ উপকক্ষটি ভর্তি হতে আরম্ভ করে—Sc → ($1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^1\ 4s^2$) এবং Zn-এ ($1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2$) গিয়ে শেষ হয়—এর মধ্যে $_{21}$Sc থেকে শুরু করে $_{29}$Cu পর্যন্ত 9টি মৌলকে **সন্ধিগত মৌল** (Transition elements) বলে। **ইলেকট্রন-বিন্যাস সূত্র অনুসারে, যদি কোনো মৌলের স্থিত অবস্থায় অথবা অন্য কোনো স্থায়ী জারণ অবস্থায় অপূর্ণ d ইলেকট্রন থাকে, তবে সেই মৌলকে সন্ধিগত মৌল বলে।** Sc থেকে শুরু করে Ni পর্যন্ত এই 8টি মৌলে যথাক্রমে 1 থেকে আরম্ভ করে 8টি d-ইলেকট্রন ভর্তি হয়। কিন্তু Cu-এর ইলেকট্রন-বিন্যাস $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^1$ (d-ইলেকট্রন পূর্ণ) হওয়ায় আপাতদৃষ্টিতে একে সন্ধিগত মৌল বলে মনে না হতে পারে। কিন্তু Cu-এর সবচেয়ে স্থায়ী জারণ সংখ্যা হল +2; আর এই জারণ অবস্থায় Cu^{2+} আয়নের ইলেকট্রন-বিন্যাস হল $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^9$ অর্থাৎ অপূর্ণ d-ইলেকট্রন থাকে। সেইজন্যই Cu সন্ধিগত মৌল। **Zn-কে সন্ধিগত মৌল কোনো অবস্থাতেই বলা যায় না,** কারণ স্থিত অথবা স্থায়ী জারণ অবস্থায়—কোনো অবস্থাতেই Zn-এ অপূর্ণ d-ইলেকট্রন থাকে না।

$$\text{Zn} = 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2$$

$$\text{Zn}^{++} = 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10} \qquad (3d \text{ উপকক্ষ পূর্ণ})$$

Zn-এর পরের মৌলগুলিতে যথারীতি $4p$ উপকক্ষটি পরপর 6টি ইলেকট্রন দ্বারা পূর্ণ হতে থাকে—Ga থেকে Kr পর্যন্ত মৌলে। **এই পর্যায়ে K, Ca এবং Ga থেকে Kr পর্যন্ত মৌলগুলি হল আদর্শ মৌল।**

শ্রেণি ↓		পর্যায় চতুর্থ	
		মৌল	বাইরের কক্ষের e-বিন্যাস
1	IA	K	$3d^0\ 4s^1$
2	IIA	Ca	$3d^0\ 4s^2$
3	IIIB	Sc	$3d^1\ 4s^2$
4	IVB	Ti	$3d^2\ 4s^2$
5	VB	V	$3d^3\ 4s^2$
6	VIB	Cr	$3d^5\ 4s^1$
7	VIIB	Mn	$3d^5\ 4s^2$
8	VIII	Fe	$3d^6\ 4s^2$
9		Co	$3d^7\ 4s^2$
10		Ni	$3d^8\ 4s^2$
11	IB	Cu	$3d^{10} 4s^1$
12	IIB	Zn	$3d^{10} 4s^2$
13	IIIA	Ga	$3d^{10} 4s^2\ 4p^1$
14	IVA	Ge	$3d^{10} 4s^2\ 4p^2$
15	VA	As	$3d^{10} 4s^2\ 4p^3$
16	VIA	Sc	$3d^{10} 4s^2\ 4p^4$
17	VIIA	Br	$3d^{10} 4s^2\ 4p^5$
18	0	Kr	$3d^{10} 4s^2\ 4p^6$

চতুর্থ পর্যায়ের মৌলগুলির ইলেকট্রন-বিন্যাস

(5) পঞ্চম পর্যায় ঃ এই পর্যায়টি আরম্ভ হচ্ছে রুবিডিয়াম $_{37}Rb$-কে দিয়ে—এর পঞ্চম মুখ্যশক্তি স্তরের ($n = 5$) s উপকক্ষে 1টি ইলেকট্রন ভর্তি হয়। এরপর $_{38}Sr$-এর $5s$ উপকক্ষটিতে আরেকটি ইলেকট্রন ভর্তি হয়ে $5s$ উপকক্ষটি পূর্ণ হয়। তখনও কিন্তু $4d$ উপকক্ষটি খালি থাকে। এর পরের মৌল $_{39}Y$ থেকে $4d$ উপকক্ষটি একটি একটি করে ইলেকট্রন দিয়ে ভর্তি হতে থাকে এবং $_{48}Cd$-তে গিয়ে $4d$ উপকক্ষটি সম্পৃক্ত হয়। তারপর আবার $_{49}In$ থেকে $5p$ উপকক্ষটিতে ইলেকট্রন ভর্তি হতে থাকে এবং $_{54}Xe$-তে গিয়ে শেষ হয়। তাই এই পর্যায়ও $5s$ এবং $5p$ উপকক্ষের জন্য 8টি এবং $4d$ উপকক্ষটির জন্য আরও 10টি, মোট 18টি মৌল অবস্থান করে। এই পর্যায়তেও Y ($4d^1\ 5s^2$) থেকে Cd ($4d^{10}\ 5s^2$) পর্যন্ত মৌলগুলি **সন্ধিগত মৌল** (Transition elements) শ্রেণিতে পড়ে, তবে **Cd কিন্তু সন্ধিগত মৌল নয়।**

(6) ষষ্ঠ পর্যায় ঃ ষষ্ঠ পর্যায়ে আবার নতুন মুখ্যশক্তি স্তর ($n = 6$) আরম্ভ হয়। এই পর্যায়ের প্রথম দুটি মৌল $_{55}Cs$ ($6s^1$) এবং $_{56}Ba$ ($6s^2$)-এ $6s$ উপকক্ষে ইলেকট্রন ভর্তি হয়। **এই পর্যায়ের মজা হচ্ছে এই যে, $_{57}La$ ($4f^0\ 5d^1\ 6s^2$)-এর পরের 14টি মৌলে 5d উপকক্ষে ইলেকট্রন আর ভর্তি না হয়ে 4f উপকক্ষে এক এক করে ইলেকট্রন ভর্তি হতে থাকে—এই অবস্থা চলে $_{58}Ce$ ($4f^1\ 5d^1\ 6s^2$) থেকে আরম্ভ করে একেবারে $_{71}Lu$ ($4f^{14}\ 5d^1\ 6s^2$) পর্যন্ত।** $4f$ উপকক্ষ ইলেকট্রন দ্বারা সম্পৃক্ত হওয়ার পর $_{72}Hf$ ($4f^{14}\ 5d^2\ 6s^2$) থেকে আবার $5d$ উপকক্ষে ইলেকট্রন যেতে শুরু করে—এই অবস্থা চলে $_{80}Hg$ ($4f^{14}\ 5d^{10}\ 6s^2$) পর্যন্ত 10টি মৌলে। Hg-এর পর d উপকক্ষ ভর্তি হয়ে গেলে পর $6p$ উপকক্ষে একটি একটি করে ইলেকট্রন ভর্তি হতে হতে $_{86}Rn$ ($4f^{14}\ 5d^{10}\ 6s^2\ 6p^6$)-এ গিয়ে শেষ হয়। তাই **এই পর্যায়ে মোট 32টি মৌল অবস্থান করে।**

(i) এই পর্যায়ে যে মৌলগুলিতে 5d উপকক্ষে ইলেকট্রন ভর্তি হয়; যেমন—**Lu এবং Hf থেকে Hg পর্যন্ত মৌলগুলি সন্ধিগত মৌল শ্রেণিতে পড়ে, তবে Hg সন্ধিগত মৌল নয়।**

(ii) আর যে মৌলগুলিতে $5d$ উপকক্ষে ইলেকট্রন ভর্তি না হয়ে $4f$ উপকক্ষে ইলেকট্রন ভর্তি হতে থাকে, তাদের **বিরল মৃত্তিকা মৌল, প্রথম মধ্যবর্তী সন্ধিগত মৌল বা ল্যান্থানাইডস** বলে। এদের সাধারণ ইলেকট্রন-বিন্যাস হল—

$$(n-2)\, f^{1-14}\ (n-1)\, s^2\, p^6\, d^{0-1}\ ns^2\ [n = 6]$$

(7) সপ্তম পর্যায় ঃ এই পর্যায়ে সপ্তম মুখ্যশক্তি স্তর ($n = 7$) আরম্ভ হয়। এই পর্যায়ের প্রথম দুটি মৌলের [$_{87}Fr$ ($7s^1$) এবং $_{88}Ra$ ($7s^2$)] পরমাণুর $7s$ উপকক্ষ পূর্ণ হয়। এরপর ষষ্ঠ পর্যায়ের মতোই $_{89}Ac$-এর ($5f^0\ 6d^1\ 7s^2$) পরের 14টি মৌলে ($_{90}Th$-এর f উপকক্ষে ইলেকট্রন যায় না) $6d$ উপকক্ষে ইলেকট্রন ভর্তি না হয়ে $5f$ উপকক্ষে একটি একটি করে ইলেকট্রন ভর্তি হতে থাকে—এই অবস্থা চলে। প্রটোঅ্যাক্টিনিয়াম $_{91}Pa$ ($5f^2\ 1d^1\ 7s^2$) থেকে শুরু করে লরেন্সিয়াম $_{103}Lr$ ($5f^{14}\ 6d^1\ 7s^2$) পর্যন্ত। $5f$ উপকক্ষটি ইলেকট্রন দ্বারা ভর্তি হওয়ার পর রাদারফোর্ডিয়াম $_{104}Rf$ ($5f^{14}\ 6d^2\ 7s^2$) থেকে আবার $6d$ উপকক্ষে ইলেকট্রন যেতে শুরু করে। এই অবস্থা চলে সম্প্রতি কৃত্রিমভাবে প্রস্তুত মৌল মাইটনেরিয়াম $_{109}Mt$ ($6d^7 7s^2$) এবং আরও 4টি কৃত্রিমভাবে প্রস্তুত মৌল Uun, Uuu, Uub পর্যন্ত। এই মৌলগুলি হল **সন্ধিগত মৌল।**

থোরিয়ামে যদিও f ইলেকট্রন থাকে না কিন্তু যেহেতু থোরিয়ামের বেশির ভাগ ধর্মগুলি f ব্লক মৌলগুলির মতো, তাই **থোরিয়াম থেকে শুরু করে লরেন্সিয়াম** পর্যন্ত মৌলগুলিকে **মধ্যবর্তী সন্ধিগত মৌল বা অ্যাক্টিনাইডস** (Actinides) বলা হয়।

ষষ্ঠ পর্যায়ের মতো এই পর্যায়েও 32টি মৌল থাকার কথা, কিন্তু সম্প্রতি আবিষ্কৃত মৌলগুলিকে নিয়ে সপ্তম পর্যায়ের মৌল সংখ্যা হল 27টি মাত্র—এটি একটি ভাঙা পর্যায়।

ল্যান্থা-নাইড 4f সারি	58 Ce $4f^15d^16s^2$	59 Pr $4f^35d^06s^2$	60 Nd $4f^45d^06s^2$	61 Pm $4f^55d^06s^2$	62 Sm $4f^65d^06s^2$	63 Eu $4f^75d^06s^2$	64 Gd $4f^75d^16s^2$	65 Tb $4f^95d^06s^2$	66 Dy $4f^{10}5d^06s^2$	67 Ho $4f^{11}5d^06s^2$	68 Er $4f^{12}5d^06s^2$	69 Tm $4f^{13}5d^06s^2$	70 Yb $4f^{14}5d^06s^2$	71 Lu $4f^{14}5d^16s^2$
অ্যাক্টি-নাইড 5f সারি	90 Th $5f^06d^27s^2$	91 Pa $5f^26d^17s^2$	92 U $5f^36d^17s^2$	93 Np $5f^46d^17s^2$	94 Pu $5f^66d^07s^2$	95 Am $5f^76d^07s^2$	96 Cm $5f^76d^17s^2$	97 Bk $5f^96d^0s^2$	98 Cf $5f^{10}6d^07s^2$	99 Es $5f^{11}6d^07s^2$	100 Fm $5f^{12}6d^07s^2$	101 Md $5f^{13}6d^07s^2$	102 No $5f^{14}6d^07s^2$	103 Lr $5f^{15}6d^17s^2$
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17

● **100-এর বেশি পারমাণবিক সংখ্যা বিশিষ্ট মৌলগুলির নামকরণের পদ্ধতি ঃ** যে মৌলগুলির পারমাণবিক সংখ্যা $z = (101 - 112)$ এবং 114 সেই মৌলগুলির পরিচয় বর্তমানে পাওয়া গেছে—এদের মধ্যে কতকগুলি মৌল আগেই আবিষ্কৃত হয়েছে। সবে আবিষ্কৃত কয়েকটি মৌলের নাম দেওয়া হলেও সেই নামগুলি সর্বজন গৃহীত হয়নি। নতুন আবিষ্কৃত সুপার ভারী মৌলগুলির নামকরণে সমতা আনার জন্য 1997 খ্রিস্টাব্দে IUPAC দ্বারা একটি পদ্ধতি নির্ণয় করা হয়। এই পদ্ধতিতে সংশ্লিষ্ট মৌলটির পারমাণবিক সংখ্যার 0 এবং 1—9 পর্যন্ত অঙ্কগুলিকে সংক্ষেপে গ্রিক ও ল্যাটিন শব্দের সাহায্যে লিখে শেষে ium (*ইয়াম*) শব্দটি যোগ করা হয়।

এই পদ্ধতিতে 0-কে nil, 1-কে un, 2-কে bi, 3-কে tri, 4-কে quad, 5-কে pent, 6-কে hex, 7-কে sept, 8-কে oct এবং 9-কে enn দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

সুপার-ভারী মৌলগুলির পারমাণবিক সংখ্যার সংখ্যাগুলিকে উপরের প্রদত্ত চিহ্ন দ্বারা লিখে শেষে ium যোগ করা হয়। কয়েকটির ক্ষেত্রে নামগুলিকে একটু ছোটো করে লেখা হয়, যেমন, bi ium, tri ium-কে যথাক্রমে সংক্ষেপে bium, trium রূপে লেখা হয়। enn nil-কে সংক্ষেপে ennil রূপে লেখা হয়। নীচে কতকগুলি সুপার-ভারী মৌলের IUPAC নামকরণ দেওয়া হল—

Z	IUPAC নাম	চিহ্ন		Z	IUPAC নাম	চিহ্ন
101	Unnil unium	Unu		108	Unnil octium	Uno
102	Unnil bium	Unb		109	Unnil ennium	Une
103	Unnil trium	Unt		110	Unun nilium	Uun
104	Unnil quadium	Unq		111	Unun unium	Uuu
105	Unnil pentium	Unp		112	Unun bium	Uub
106	Unnil hexium	Unh		113	Unun trium	Uut
107	Unnil septium	Uns		114	Unun quadium	Unq

7.3. *s, p, d, f* ব্লক অনুযায়ী বিভিন্ন মৌলের শ্রেণিবিভাগ [Classification of elements according to *s, p, d* and *f* blocks]

দেখা গেছে যে, পর্যায়-সারণির উল্লম্ব পঙক্তি বা গ্রুপগুলি একই রাসায়নিক ধর্ম বিশিষ্ট কতগুলি মৌল দ্বারা গঠিত। মৌলগুলির রাসায়নিক ধর্মের এই রকম মিল হওয়ার কারণ হল, মৌলগুলির যোজনকক্ষে একই সংখ্যক ইলেকট্রনের উপস্থিতি এবং একই রকম ইলেকট্রন বিন্যাস। সুতরাং বিভিন্ন মৌলগুলিকে আমরা চারটি ব্লকে বিভক্ত করতে পারি। তাই, আধুনিক পর্যায়-সারণিতে বিভিন্ন মৌলগুলিকে 4টি ব্লকে ভাগ করা হয়েছে—*s, p, d* এবং *f* ব্লক।

কোনো পরমাণুর যে অর্বিট্যালে শেষ ইলেকট্রনটি প্রবেশ করে সেই উপকক্ষের প্রকৃতি অনুসারে বিভিন্ন মৌলগুলিকে শ্রেণিবন্ধ করা হয়েছে। বিভিন্ন ব্লকের অন্তর্ভুক্ত মৌলগুলির সম্পর্কে নীচে আলোচনা করা হল।

(1) *s* ব্লক মৌল (প্রতিনিধি বা আদর্শ মৌল) (*s* Block Elements) (Typical elements) **ঃ**

যে মৌলগুলির পরমাণুতে সবচেয়ে বাইরের কক্ষের *s* উপকক্ষে শেষ ইলেকট্রনটি প্রবেশ করে অর্থাৎ শেষ ইলেকট্রনটি *ns* উপকক্ষে যায় (n = সর্ব বহিস্থ কক্ষের সংখ্যা) সেই মৌলগুলি এই ব্লকে স্থান পায়।

যেহেতু s অর্বিট্যালে 2টির বেশি ইলেকট্রন থাকতে পারে না, তাই এই ব্লকের মৌলগুলির মধ্যে যাদের সর্ববহিস্থ s অর্বিট্যালে 1টি ইলেকট্রন থাকে (ক্ষার ধাতু) তারা Gr IA বা Gr 1-তে এবং যাদের সর্ববহিস্থ s অর্বিট্যালে 2টি ইলেকট্রন থাকে (ক্ষারীয় মৃত্তিকা ধাতু), তারা Gr II A বা Gr 2-তে স্থান পায়। অর্থাৎ **পর্যায়-সারণির Gr IA বা Gr 1-এর মৌলগুলি** (ns^1) এবং IIA বা Gr 2-এর মৌলগুলি (ns^2) এই ব্লকের অর্ন্তভুক্ত। যেমন, H–$1s^1$, Li–[He] $2s^1$, Na–[Ne] $3s^1$, K–[Ar] $4s^1$, Rb–[Kr] $5s^1$, Cs–[Xe] $6s^1$, Fr–[Rn] $7s^1$ মৌলগুলি Gr IA বা Gr 1-তে স্থান পেয়েছে এবং Be–[He] $2s^2$, Mg–[Ne] $3s^2$, Ca–[Ar] $4s^2$, Sr–[Kr] $5s^2$, Ba–[Xe] $6s^2$ এবং Ra–[Rn] $7s^2$ এই মৌলগুলি Gr IIA বা Gr 2-তে স্থান পেয়েছে। **পর্যায়-সারণির সবচেয়ে বাম দিকে এই ব্লকের মৌলগুলি স্থান পায়।**

←------ s-ব্লকের মৌল ------→

পর্যায়	IA	IIA
2	$_3$Li	$_4$Be
3	$_{11}$Na	$_{12}$Mg
4	$_{19}$K	$_{20}$Ca
5	$_{37}$Rb	$_{38}$Sr
6	$_{55}$Cs	$_{56}$Ba
7	$_{87}$Fr	$_{88}$Ra
ইলেকট্রন বিন্যাস	ns^1	ns^2

পর্যায়		
1	$_1$H	$_2$He

● **s-মৌলগুলির বৈশিষ্ট্য ঃ (i)** s-ব্লকের অন্তর্ভুক্ত মৌলগুলি নরম এবং নমনীয়। **(ii)** তাপ এবং তড়িতের সুপরিবাহী। **(iii)** Gr 1 এবং 2-এর মৌলগুলির **ক্যাটায়নগুলি ডাই-ম্যাগনেটিক কারণ অর্বিট্যালে অযুগ্ম ইলেকট্রন থাকে না। (iv)** এদের আয়নীভবন বিভব কম হওয়ার জন্য এবং তীব্র ইলেকট্রো-পজিটিভ হওয়ার জন্য প্রত্যেকের **বিজারণ ক্ষমতা** আছে। **(v)** ডাইক্রোমেট, পারম্যাঙ্গানেট এবং ক্রোমেট লবণ ছাড়া, এই মৌলগুলির লবণ হল বর্ণহীন। **(vi)** Be এবং Mg ছাড়া s-ব্লক মৌলগুলি বার্নারের দীপ্তিহীন শিখায় বিভিন্ন বর্ণ উৎপন্ন করে। **(vii)** এদের যোজন কক্ষের ইলেকট্রন আলগাভাবে যুক্ত থাকায় এদের আয়নীভবন বিভব কম, তাই এরা বেশ সক্রিয়। Be ছাড়া সব s ব্লক মৌলের মৌলগুলি তড়িৎযোজী।

(2) *p* ব্লক মৌল (প্রতিনিধি বা আদর্শ মৌল) (*p* Block Elements) ঃ

যে মৌলগুলির পরমাণুতে সবচেয়ে বাইরের কক্ষের *p* উপকক্ষে শেষ ইলেকট্রনটি প্রবেশ করে অর্থাৎ শেষ ইলেকট্রনটি *np* উপকক্ষে যায় (n = সর্ববহিস্থ কক্ষের সংখ্যা) সেই মৌলগুলিকে *p* ব্লকের মৌল বলে।

যেহেতু p উপকক্ষে তিনটি p অর্বিট্যাল থাকে এবং প্রতিটি অর্বিট্যালের ইলেকট্রন ধারণ ক্ষমতা = 2, সুতরাং p ব্লক মৌলের জন্য 6টি গ্রুপ থাকে। পর্যায় সারণির IIIA বা (13) গ্রুপের মৌলগুলি ($ns^2\ np^1$) থেকে আরম্ভ করে IVA বা (14), VA বা (15), VIA বা (16), VIIA বা (17) এবং He ছাড়া 0 বা 18 গ্রুপের মৌলগুলি ($ns^2\ np^6$) এই ব্লকে স্থান পায়। **আধুনিক পর্যায় সারণির একেবারে ডান দিকে *p* ব্লক মৌলগুলি অবস্থান করে।** এই ব্লকের মধ্যে ধাতু, অধাতু এবং ধাতুকল্প প্রভৃতি মৌল এবং Ne থেকে Rn পর্যন্ত নিষ্ক্রিয় বা নোবল গ্যাসগুলি উপস্থিত থাকে। যেহেতু এই ব্লকের মৌলগুলির s উপকক্ষ ইলেকট্রন দ্বারা ভর্তি হয়ে গেছে, তাই গ্রুপ13 থেকে 14, 15, 16, 17 এবং 18 গ্রুপে 1টি করে ইলেকট্রন মৌলগুলির p অর্বিট্যালে ক্রমান্বয়ে ভর্তি হয়ে থাকে। সুতরাং সর্ববহিস্থ কক্ষের ইলেকট্রন বিন্যাস গ্রুপ 13-তে $ns^2\ np^1$ থেকে আরম্ভ করে গ্রুপ 18-তে ns^2np^6-এ গিয়ে সম্পূর্ণ হয়। যেহেতু এই ব্লকে প্রতি গ্রুপে 5টি করে মৌল থাকে, তাই **p ব্লক মৌলের সংখ্যা হল 30**। নীচে p-ব্লক মৌলের ইলেকট্রন বিন্যাস দেখানো হল।

←------ p-ব্লকের মৌল ------→

পর্যায়	III A (13)	IV A (14)	V A (15)	VI A (16)	VII A (17)	0 (18)
2	$_5$B	$_6$C	$_7$N	$_8$O	$_9$F	$_{10}$Ne
3	$_{13}$Al	$_{14}$Si	$_{15}$P	$_{16}$S	$_{17}$Cl	$_{18}$Ar
4	$_{31}$Ga	$_{32}$Ge	$_{33}$As	$_{34}$Se	$_{35}$Br	$_{36}$Kr
5	$_{49}$In	$_{50}$Sn	$_{51}$Sb	$_{52}$Te	$_{53}$I	$_{54}$Xe
6	$_{81}$Tl	$_{82}$Pb	$_{83}$Bi	$_{84}$Po	$_{85}$At	$_{86}$Rn
ইলেকট্রন বিন্যাস	ns^2np^1	ns^2np^2	ns^2np^3	ns^2np^4	ns^2np^5	ns^2np^6

প্রতিটি পর্যায়ের শেষ হয় এই নোবল গ্যাস দিয়ে। He ছাড়া অন্যান্য সব নোবল গ্যাসের সবচেয়ে বাইরের কক্ষের ইলেকট্রন বিন্যাস হল $ns^2\ np^6$। এই গ্যাসগুলির পরমাণুর সব শক্তিস্তরগুলি ইলেকট্রন দ্বারা সম্পৃক্ত থাকে বলে, পরমাণুগুলি স্থায়ী গঠন পায় এবং নিষ্ক্রিয় হয়।

● **p-ব্লক মৌলগুলির বৈশিষ্ট্য ঃ (1)** Group IIIA (13) থেকে Group VIIA (17)-এর দিকে যত যাওয়া হয় মৌলগুলির **আয়নীভবন বিভব বৃদ্ধি পেতে থাকে**। তাই যোজক ইলেকট্রনগুলি আরো দৃঢ়ভাবে নিউক্লিয়াসের সঙ্গে আটকানো থাকে।

(2) বাম থেকে ডানদিকে এগোনোর সঙ্গে সঙ্গে যোজক ইলেকট্রনের সংখ্যা বৃদ্ধি পেতে থাকে এবং খালি যোজক অর্বিট্যালের সংখ্যা কমতে থাকে। কোনো শ্রেণির উপর থেকে নীচের দিকে নামলে আয়নীভবন বিভব কমে বলে ধাতব ধর্ম ক্রমে বৃদ্ধি পায়। সুতরাং ধাতব মৌলগুলি এই ব্লকের বাম দিকে নীচের দিকে এবং অধাতব মৌলগুলি ডানদিকের উপরের দিকে অবস্থান করে। ধাতুকল্প মৌলগুলি (B, Si, Ge, As, Sb) ধাতু এবং অধাতুর মাঝে থাকে। **p-ব্লক মৌলগুলির বেশির ভাগ হল অধাতু। (3)** এরা তাপ এবং তড়িতের অপরিবাহী (ধাতু এবং গ্রাফাইট ছাড়া)। **(4)** মৌলগুলির বেশির ভাগই ইলেকট্রোনেগেটিভ। **(5)** সাধারণত পরিবর্তনশীল যোজ্যতা দেখা যায়। **(6) বাম থেকে যত ডান দিকে যাওয়া যায় বিজারণ ক্ষমতা হ্রাস পায়, জারণ ক্ষমতা বৃদ্ধি পায়। (7)** একই শ্রেণির উপর থেকে নীচের দিকে বিজারণ ক্ষমতা বৃদ্ধি পায়, জারণ ক্ষমতা হ্রাস পায়। এরা বেশির ভাগ সমযোজী যৌগ উৎপন্ন করে যদিও তাদের আয়নীয় প্রকৃতি বৃদ্ধি পায় কোনো গ্রুপের নীচের দিকে গেলে। **(8)** এরা রঙিন এবং বর্ণহীন উভয় প্রকার যৌগ উৎপন্ন করে। **(9) চতুর্থ, পঞ্চম এবং ষষ্ঠ পর্যায়ের এই ব্লকের মৌলগুলির পরমাণুতে খালি *d* অর্বিট্যাল থাকায় এরা অসমযোজ্যতার সাহায্যে জটিল যৌগ উৎপন্ন করতে সক্ষম হয়।**

s এবং *p* ব্লকের মৌলগুলিকে **আদর্শ মৌল** (Ideal elements) বা **প্রতিনিধি মৌল** (Representative elements) বলা হয়।

(3) *d* ব্লক মৌল—সন্ধিগত মৌল (*d* Block elements) ঃ

যে মৌলগুলির পরমাণুর সবচেয়ে বাইরের কক্ষের *ns* উপকক্ষে ইলেকট্রন থাকা সত্ত্বেও শেষ ইলেকট্রনটি আগের কক্ষের (*n* –1) *d* উপকক্ষে প্রবেশ করে সেই মৌলগুলি হল *d* ব্লকের অন্তর্গত। কয়েকটি ছাড়া এই ব্লকের সব মৌলগুলির *ns* উপকক্ষটি ইলেকট্রন দ্বারা পূর্ণ থাকে। যেহেতু *d* উপকক্ষে 5টি *d* অর্বিট্যাল থাকে যার প্রতি অর্বিট্যালে 2টি করে ইলেকট্রন স্থান পেতে পারে, সুতরাং *d* ব্লক মৌলের জন্য দশটি গ্রুপ থাকে। পর্যায় সারণির IIIB (3) গ্রুপের Sc [$(n-1)\ d^1\ ns^2$] থেকে শুরু করে IV B (4), V B (5), VI B (6), VII B (7), VIII (8, 9, 10), IB (11) এবং IIB (12) গ্রুপের [$(n-1)\ d^{10}\ ns^2$] মৌলগুলি এই ব্লকে স্থান পায়। এই ব্লকের অন্তর্ভুক্ত মৌলগুলির সবচেয়ে বাইরের মুখ্যশক্তি স্তরের *s* অর্বিট্যালে 1 অথবা 2টি ইলেকট্রন থাকে। সুতরাং এই ব্লকের অন্তর্ভুক্ত মৌলগুলির সবচেয়ে বাইরের কক্ষের আগের কক্ষের (*n* – 1) *d* অর্বিট্যালগুলিতে ক্রমান্বয়ে 1টি করে ইলেকট্রন ভর্তি হতে থাকে। সুতরাং *d* ব্লক মৌলগুলির বহিস্থ কক্ষের সাধারণ ইলেকট্রন বিন্যাস হল [$(n-1)\ d^{1-10}\ ns^{1-2}$]।

←------ *d*-ব্লকের মৌল ------→

ব্লক	পর্যায়	IIIB (3)	IV B (4)	V B (5)	VI B (6)	VII B (7)	VIII (8)	VIII (9)	VIII (10)	IB (11)	IIB (12)
3*d*	4	$_{21}$Sc	$_{22}$Ti	$_{23}$V	$_{24}$Cr	$_{25}$Mn	$_{26}$Fe	$_{27}$Co	$_{28}$Ni	$_{29}$Cu	$_{30}$Zn
4*d*	5	$_{39}$Y	$_{40}$Zr	$_{41}$Nb	$_{42}$Mo	$_{43}$Tc	$_{44}$Ru	$_{45}$Rh	$_{46}$Pd	$_{47}$Ag	$_{48}$Cd
5*d*	6	$_{57}$La	$_{72}$Hf	$_{73}$Ta	$_{74}$W	$_{75}$Re	$_{76}$Os	$_{77}$Ir	$_{78}$Pt	$_{79}$Au	$_{80}$Hg
6*d*	7	$_{89}$Ac	$_{104}$Rf	$_{105}$Db	$_{106}$Sg	$_{107}$Bh	$_{108}$Hs	$_{109}$Mt			
	ইলেকট্রন বিন্যাস	[$(n-1)\ d$ (1 থেকে 10) ns (1 – 2)]									

এই ব্লকের মৌলগুলি পর্যায়-সারণির *s* ব্লক এবং *p* ব্লক মৌলগুলির মাঝামাঝি অঞ্চল অধিকার করে বলে মৌলগুলিকে সন্ধিগত মৌল বলে।

● **যেসব মৌলের পরমাণুর স্থিত অবস্থায় অথবা অন্য কোনো স্থায়ী জারণ অবস্থায় *d* উপকক্ষ অপূর্ণ অবস্থায় থাকে, সেই মৌলগুলিকে সন্ধিগত মৌল বলে।**

সন্ধিগত (*d* ব্লক) মৌলগুলিকে তিনটি ভাগে ভাগ করা যায়। প্রতি ভাগে 10টি করে মৌল থাকে।

(i) প্রথম সন্ধিগত শ্রেণি (First transition series)—এই শ্রেণির মৌলগুলিতে শেষ ইলেকট্রনটি 3*d* অর্বিট্যালে প্রবেশ করে। চতুর্থ পর্যায়ে স্ক্যানডিয়াম Sc (21) থেকে আরম্ভ করে জিঙ্ক Zn (30) পর্যন্ত এই শ্রেণিতে থাকে। তবে, সংজ্ঞানুযায়ী **Zn কিন্তু সন্ধিগত মৌল নয়।**

(ii) দ্বিতীয় সন্ধিগত শ্রেণি (Second transition series)—এই শ্রেণির মৌলগুলিতে শেষ ইলেকট্রনটি 4*d* অর্বিট্যালে প্রবেশ করে। পঞ্চম পর্যায়ে ইট্রিয়াম Y (39) থেকে আরম্ভ করে ক্যাডমিয়াম Cd (48) পর্যন্ত এই শ্রেণিতে পড়ে। সংজ্ঞানুযায়ী **Cd কিন্তু সন্ধিগত মৌল নয়।**

(iii) তৃতীয় সন্ধিগত শ্রেণি (Third transition series)—এই শ্রেণির মৌলগুলির শেষ ইলেকট্রনটি 5*d* অর্বিট্যালে প্রবেশ

করে। ষষ্ঠ পর্যায়ে ল্যান্থেনাম La (57), হাফনিয়াম Hf (72) থেকে মারকারি (80) পর্যন্ত এই শ্রেণিতে পড়ে। সংজ্ঞানুযায়ী **মারকারি কিন্তু সন্ধিগত মৌল নয়।**

Zn, Cd এবং Hg-কে *d* ব্লক মৌল বলা চলে কিন্তু তারা সন্ধিগত মৌল নয়।

[ষষ্ঠ পর্যায়ের [Ce(58) থেকে Lu (71) পর্যন্ত এবং সপ্তম পর্যায়ের Th (90) থেকে Lr (103) পর্যন্ত মৌলগুলিকে **মধ্যবর্তী সন্ধিগত শ্রেণি** (inner transition elements) বলা হয়—এরা *f* ব্লকের অন্তর্গত মৌল।]

● ***d* ব্লক সন্ধিগত মৌলগুলির বৈশিষ্ট্য ঃ (1)** এই ব্লকের মৌলগুলির **একাধিক যোজ্যতা** এবং **জারণ অবস্থা** দেখা যায়। এর কারণ হল, এই ব্লকের মৌলগুলির পরমাণুতে ***d* অর্বিট্যাল অপূর্ণ অবস্থায় থাকে** এবং অন্য মৌলের সঙ্গে যুক্ত হওয়ার সময় *s* অর্বিট্যালের ইলেকট্রনের সঙ্গে *d* অর্বিট্যালের বিভিন্ন সংখ্যক ইলেকট্রন বন্ধন গঠনে অংশ নেয়। **(2)** এরা প্রত্যেকেই ধাতু—কারণ (*a*) এদের আয়নীভবন বিভব অপেক্ষাকৃত কম, (*b*) এদের যোজক ইলেকট্রনের সংখ্যা কম (1 অথবা 2) এবং এদের পরমাণুতে কিছু সংখ্যক ফাঁকা যোজক অর্বিট্যাল বর্তমান থাকে। **(3)** প্রত্যেকেই তাপ এবং তড়িতের সুপরিবাহী। **(4)** এরা ইলেকট্রো-পজিটিভ হলেও *s* ব্লক মৌলগুলির চেয়ে কম ইলেকট্রো-পজিটিভ। **(5)** এরা আয়নীয় এবং সমযোজী উভয় প্রকার যৌগ গঠন করে। **(6)** এরা **প্যারাম্যাগনেটিক** অর্থাৎ চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা আকৃষ্ট হয়। এর কারণ হল *d* উপকক্ষে বিজোড় সংখ্যক ইলেকট্রনের উপস্থিতি। **আয়রন এবং কোবাল্টকে চুম্বকে পরিণত করা যায়, তাই এরা ফেরোম্যাগনেটিক। (7)** *d* ব্লকের মৌলগুলি রঙিন যৌগ বা রঙিন জটিল যৌগ উৎপন্ন করে। **(8)** এই ব্লকের মৌলগুলির বিশেষ ধর্ম হল **জটিল যৌগ উৎপন্ন করার ক্ষমতা।** এর কারণ হল (*a*) মৌলগুলির পরমাণু বা আয়নের ক্ষুদ্র আকার, (*b*) পরমাণুগুলির নিউক্লীয় চার্জের পরিমাণ বেশি, (*c*) *d* উপকক্ষের ইলেকট্রনগুলির অসম-যোজ্যতা গঠন করার ক্ষমতা। **(9)** বেশির ভাগ সন্ধিগত মৌল—যেমন, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Pt অনুঘটক রূপে ব্যবহৃত হয়। **(10)** বেশির ভাগ সন্ধিগত মৌল সংকর ধাতু উৎপন্ন করে।

(4) *f* ব্লক মৌল—অন্তর্বর্তী সন্ধিগত মৌল (*f* Block elements) ঃ

এই ব্লকের অন্তর্গত মৌলগুলিতে সর্ববহিস্থ কক্ষের *ns* উপকক্ষ ভর্তি থাকা অবস্থায় এবং (*n* – 1) কক্ষের *d* উপকক্ষটি অপূর্ণ থাকা সত্ত্বেও শেষ ইলেকট্রনটি (*n* – 2) কক্ষের *f* উপকক্ষে পর পর গিয়ে পূর্ণ করতে থাকে। *f* ব্লক মৌলগুলির ক্ষেত্রে দেখা যায় যে (*n* –1) *d* অর্বিট্যালে ইলেকট্রন আর ভর্তি না হয়ে (*n* – 2) *f* অর্বিট্যালে এক এক করে ইলেকট্রন ভর্তি হতে থাকে। এই অবস্থা চলে **ষষ্ঠ পর্যায়ের** $_{58}$Ce ($4f^1\ 5d^1\ 6s^2$) থেকে আরম্ভ করে $_{71}$Lu ($4f^{14}\ 5d^1\ 6s^2$) পর্যন্ত 14টি মৌলে এবং **সপ্তম পর্যায়ের** $_{90}$Th ($5f^0\ 6d^2\ 7s^2$) থেকে আরম্ভ করে $_{103}$Lr ($5f^{14}\ 6d^1\ 7s^2$) পর্যন্ত। **বিরল মৃত্তিকা মৌল** বা **ল্যান্থানাইড** এবং **অ্যাকটিনাইড** শ্রেণির মৌলগুলি এই ব্লকের অন্তর্গত। **মৌলগুলি IIIB (3) গ্রুপের অন্তর্ভুক্ত।** এদের বাইরের কক্ষের সাধারণ ইলেকট্রন বিন্যাস হল $[(n-2)^{1-14}\ (n-1)d^{0-1}\ ns^{(1-2)}]$।

←---------- *f*-ব্লকের মৌল ----------→

পর্যায়	শ্রেণি (IIIB) (3)				$[(n-2)\ f^{(1-14)}\ (n-1)\ d^{0-2}\ ns^{(1-2)}]$									
$6_{(4f)}$	$_{58}$Ce	$_{59}$Pr	$_{60}$Nd	$_{61}$Pm	$_{62}$Sm	$_{63}$Eu	$_{64}$Gd	$_{65}$Tb	$_{66}$Dy	$_{67}$Ho	$_{68}$Er	$_{69}$Tm	$_{70}$Yb	$_{71}$Lu
$7_{(5f)}$	$_{90}$Th	$_{91}$Pa	$_{92}$U	$_{93}$Np	$_{94}$Pu	$_{95}$Am	$_{96}$Cm	$_{97}$Bk	$_{98}$Cf	$_{99}$Es	$_{100}$Fm	$_{101}$Md	$_{102}$No	$_{103}$Lr

সব অ্যাক্টিনাইডগুলি তেজস্ক্রিয়। অ্যাক্টিনাইডের প্রথম তিনটি মৌল অর্থাৎ থোরিয়াম $_{90}$Th, প্রটোঅ্যাক্টিনিয়াম $_{91}$Pa, ইউরেনিয়াম $_{92}$U-কে প্রকৃতির মধ্যে পাওয়া যায়, কিন্তু 11টি অ্যাক্টিনয়েড যেমন, নেপচুনিয়াম $_{93}$Np থেকে লরেন্সিয়াম $_{103}$Lr পর্যন্ত মৌলগুলির সবই কৃত্রিমভাবে প্রস্তুত। এই 11টি মৌলকে **ট্রান্সইউরেনিয়াম মৌল** বা **ইউরেনিয়ামোত্তর মৌল** বলে। **ল্যান্থানাইডস এবং অ্যাক্টিনাইডসগুলিকে অন্তর্বর্তী সন্ধিগত মৌল বলা হয়।**

● **ল্যান্থানাইডস এবং অ্যাক্টিনাইডসের বা *f* ব্লক মৌলের সাধারণ বৈশিষ্ট্য ঃ**

(A) ল্যান্থানাইডের বৈশিষ্ট্য ঃ

(i) এরা সবাই ধাতু—তাপ ও তড়িতের সুপরিবাহী। **(ii)** এদের ঘনত্ব বেশি এবং গলনাঙ্ক এবং স্ফুটনাঙ্কও বেশি। আণবিক গুরুত্ব বাড়ার সাথে সাথে ধাতুগুলির ঘনত্ব বৃদ্ধি পায়। **(iii)** এদের আয়নীভবন বিভব অপেক্ষাকৃত কম, তাই এই ধাতুগুলির ইলেকট্রোপজিটিভ ধর্ম বেশি। **(iv)** বেশির ভাগ ল্যান্থানাইডের আয়নগুলি বর্ণযুক্ত হয়। এদের জটিল লবণ উৎপন্নের প্রবণতা বেশি। **(v)** এদের প্রধান জারণ অবস্থা হল +3; এ ছাড়া +2 এবং কিছু +4 জারণ অবস্থাও দেখা যায়। ল্যান্থানাইড পরমাণুর এবং ওর ত্রিযোজী আয়নের (M^{+3})-এর ব্যাসার্ধ, La^{+3} থেকে Lu^{+3} পর্যন্ত **ক্রমশ কমতে থাকে।** পরমাণুর ব্যাসার্ধের ক্ষেত্রে কিছু ব্যতিক্রম দেখা গেলেও M^{+3} আয়নের ক্ষেত্রে La থেকে Lu পর্যন্ত আয়নের ব্যাসার্ধ **নিয়মিতভাবে হ্রাস পেতে দেখা যায়।**

পারমাণবিক সংখ্যা বৃদ্ধির সাথে সাথে ল্যান্থানাইড আয়নের (M^{+3}) ব্যাসার্ধের এই রকম নিয়মিত হ্রাসের ঘটনাকে ল্যান্থানাইড সংকোচন (Lanthanide contraction) **বলা হয়।**

মৌল	পরমাণুর ব্যাসার্ধ pm	আয়নের ব্যাসার্ধ pm	মৌল	পরমাণুর ব্যাসার্ধ pm	আয়নের ব্যাসার্ধ pm	মৌল	পরমাণুর ব্যাসার্ধ pm	আয়নের ব্যাসার্ধ pm
La	169	106	Sm	166	96	Ho	158	89
Ce	165	103	Eu	185	95	Er	157	88
Pr	165	101	Gd	161	94	Tm	156	87
Nd	164	100	Tb	159	92	Yh	170	86
Pm	—	98	Dy	159	91	Lu	156	85

ল্যান্থানাইড সংকোচনের কারণ—ল্যান্থানাইড মৌলের সবচেয়ে বাইরে থাকা তিনটি মুখ্য কক্ষের ইলেকট্রন বিন্যাস হল—$4f^{1-14}5s^2\,5p^6\,5d^{0-1}\,6s^2$. সুতরাং এদের প্রত্যেকের সবচেয়ে বাইরের কক্ষের ইলেকট্রন সংখ্যা সমান থাকে, কিন্তু পরমাণু ক্রমাঙ্ক বৃদ্ধি পাওয়ার সাথে সাথে $6s$ বা $5d$ উপকক্ষের পরিবর্তে $4f$ উপকক্ষে 1টি করে ইলেকট্রন প্রবেশ করতে থাকে। $4f$ উপকক্ষের ইলেকট্রনগুলি নিউক্লিয়াসকে ঘিরে বৃত্তাকার পথে আবর্তন করার জন্য নিউক্লিয়াসের চারিদিকে ব্যাপিত অবস্থায় থাকে। এর ফলে $4f$ উপকক্ষের আবরণী ক্ষমতা অনেক কমে যায়। আবার $4f$ উপকক্ষে 1টি করে ইলেকট্রন প্রবেশ করতে থাকায় মৌলগুলির নিউক্লিয়াসের পজিটিভ চার্জও এক একক বেড়ে চলে, অথচ $4f$ উপকক্ষের ইলেকট্রনগুলির আবরণী ক্ষমতা ততটা বাড়ে না, ফলে নিউক্লিয়াসের চার্জ বাড়ার সঙ্গে সঙ্গে সবচেয়ে বাইরের কক্ষে থাকা ইলেকট্রনগুলির উপর নিউক্লিয়াসের আকর্ষণ বেড়ে যায়। এর ফলে $_{57}La$ থেকে $_{71}Lu$ পর্যন্ত মৌলগুলির পরমাণুর ব্যাসার্ধ এবং আয়নীয় ব্যাসার্ধ ক্রমে কমতে থাকে। পারমাণবিক ব্যাসার্ধের এইরকম সংকোচনকে ল্যান্থানাইড সংকোচন বলে। এর মান প্রায় 0·23Å। La^{3+} এবং Lu^{3+}-এর আয়নীয় ব্যাসার্ধ যথাক্রমে 1·22Å এবং 0·99Å। এর ফলে $4d$ ব্লক এবং $5d$ ব্লক মৌলগুলির পারমাণবিক ব্যাসার্ধ প্রায় সমান হয়ে যায়। এই ল্যান্থানাইড সংকোচন হওয়ার দরুন Zr—Hf এবং Nb—Ta এবং Mo—W-এর মধ্যে রাসায়নিক ধর্মে অস্বাভাবিক সাদৃশ্য দেখা যায়। তাই ওদের লবণের মিশ্রণ থেকে মৌলগুলিকে পৃথক করা খুব কষ্টসাধ্য ব্যাপার।

রাসায়নিক সক্রিয়তা ঃ ল্যান্থানাইড মৌলগুলি রূপোর মতো সাদা কিন্তু খোলা বায়ুতে রাখলে দ্রুত মলিন হয়। এই সারির প্রথম দিকের সভ্যগুলির রাসায়নিক ধর্ম Ca-এর অনুরূপে এবং শেষের দিকের সভ্যগুলির রাসায়নিক ধর্ম অনেকটা Al-এর মতো। এরা কার্বনের সঙ্গে বিক্রিয়া করে **কার্বাইড যৌগ** এবং হ্যালোজেনের সঙ্গে **হ্যালাইড লবণ** উৎপন্ন করে। H_2-এর সঙ্গে **হাইড্রাইড যৌগ** এবং অক্সিজেন ও সালফারের সঙ্গে যথাক্রমে **অক্সাইড** M_2O_3 এবং **সালফাইড** M_2S_3 **যৌগ** উৎপন্ন করে। **সিরিয়াম** CeO_2 দেয়। ল্যান্থানাইড অক্সাইড এবং হাইড্রক্সাইড যৌগগুলি, CO_2-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে **কার্বনেট যৌগ** উৎপন্ন করে। ল্যান্থানাইড যৌগগুলি হল **আয়নীয় যৌগ**। সমধর্মের জন্য প্রকৃতির মধ্যে ল্যান্থানাইডগুলিকে মিশ্রিত অবস্থায় পাওয়া যায়। এই কারণে এদের পরস্পর থেকে পৃথক করা কষ্টসাধ্য হয়।

ল্যান্থানাইডের ব্যবহার ঃ অন্যান্য ধাতুর সঙ্গে ল্যান্থানাইড অনেক প্রয়োজনীয় ধাতুসংকর উৎপন্ন করে। **মিশ্চমেটাল** (ল্যান্থানাইড 94-95% + Fe 5% এবং অতি সামান্য পরিমাণ S, C, Si, Al, Cu উপস্থিত থাকে) যে ল্যান্থানাইডগুলি এই সংকরে বেশি থাকে সেগুলি হল—Ce-46%, La-40% এবং Nd-44%। সিগারেটের লাইটার প্রস্তুতিতে এবং বুলেটের খোল প্রস্তুতিতে এই সংকর ব্যবহৃত হয়।

La_2O_3 ক্রুকস লেন্স প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত হয় যা UV রশ্মি শোষণ করে। Ce-এর লবণ তুলো শুষ্ক করতে এবং পেট্রোলিয়ামের ক্র্যাকিং-এ অনুঘটকরূপে ব্যবহৃত হয়।

(B) অ্যাক্টিনাইডসের বৈশিষ্ট্য ঃ (i) রূপোর মতো সাদা ধাতু—ক্ষারের সংস্পর্শে এলে মলিন হয়। **(ii)** জারণ অবস্থা হল +3, এছাড়া মৌলগুলির +4, +5 এবং +6 জারণ অবস্থাও দেখা যায়। **(iii)** একমাত্র থোরিয়াম ছাড়া এই সারির মৌলগুলির ঘনত্ব খুব বেশি। **(iv)** এই সারির বেশির ভাগ মৌলেরই বর্ণ আছে। **(v)** ল্যান্থানাইডের মতো এই মৌলগুলি হল তীব্র ইলেকট্রো-পজিটিভ—এদের আয়নায়ন বিভব খুবই কম। **(vi)** মৌলগুলির গলনাঙ্ক ও স্ফুটনাঙ্ক বেশি। **(vii)** অ্যাক্টিনাইড সারির সব মৌলই হল তেজস্ক্রিয়। **(viii)** ল্যান্থানাইড সংকোচনের মতো, $5f$ ইলেকট্রনের উপস্থিতির জন্য, অ্যাক্টিনাইড সংকোচন দেখা যায়। **রাসায়নিক ধর্ম**—সূক্ষ্ম চূর্ণ অবস্থায় মৌলগুলি অত্যন্ত সক্রিয়। এরা অক্সাইড ও হাইড্রাইড উৎপন্ন করে। HCl এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় ক্লোরাইড লবণ ও H_2 উৎপন্ন করে, কিন্তু HNO_3 এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে না।

অ্যাক্টিনাইডসের ব্যবহার ঃ থোরিয়াম নিউক্লিয়ার রিঅ্যাক্টারের জ্বালানি দণ্ড প্রস্তুতিতে এবং ক্যানসারের চিকিৎসায় ব্যবহৃত হয়। ইউরেনিয়াম-235 নিউক্লীয় রিঅ্যাক্টারে জ্বালানি রূপে, প্লুটোনিয়াম পারমাণবিক চুল্লির জ্বালানি প্রস্তুতিতে এবং পারমাণবিক বোমা প্রস্তুতে ব্যবহৃত হয়। ইউরেনিয়াম লবণ রঙিন কাচ প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত হয়।

● **ল্যান্থানাইডস এবং অ্যাক্টিনাইডসের মধ্যে পার্থক্য ঃ**

ল্যান্থানাইডস	অ্যাক্টিনাইডস
(1) এদের সাধারণ জারণ অবস্থা হল +3, মাত্র কয়েকটি ল্যান্থানাইড +2 এবং +4 জারণ অবস্থা দেখায়।	(1) এদের সাধারণ জারণ অবস্থা হল +3, মাত্র কয়েকটির ক্ষেত্রে উচ্চ জারণ অবস্থা +4, +5, +6 এবং +7 দেখা যায়।
(2) জটিল যৌগ গঠনের প্রবণতা কম।	(2) জটিল যৌগ গঠনের প্রবণতা তীব্র।
(3) অক্সো আয়ন উৎপন্ন করে না।	(3) সাধারণত অক্সো আয়ন, যেমন UO_2^+, UO^+ প্রভৃতি উৎপন্ন করে।
(4) এদের মধ্যে কেবল প্রমিথিয়াম (Pm) তেজস্ক্রিয়।	(4) সব অ্যাক্টিনাইডসই তেজস্ক্রিয়।
(5) ল্যান্থানাইড যৌগগুলি কম ক্ষারীয়।	(5) এর যৌগগুলি সাধারণত বেশি ক্ষারীয় হয়।

7.4. মৌলে ভৌত ও রাসায়নিক ধর্মে পর্যায়বৃত্তির প্রবণতা [Periodic trends in physical and chemical properties]

পারমাণবিক সংখ্যা ক্রমবৃদ্ধি অনুসারে মৌলগুলিকে পর্যায়-সারণিতে সাজাবার ফলে পুরো রসায়ন বিজ্ঞানের একটি পরিষ্কার ছবি আমাদের সামনে তুলে ধরা হয়েছে।

এই সারণি থেকে শুধু যে মৌলগুলির ধর্ম জানা যায় তা নয়, মৌলগুলির বিভিন্ন যৌগের ধর্মও জানা যায়। যেমন, প্রথম শ্রেণির মৌল সোডিয়ামের সঙ্গে পটাশিয়ামের সাদৃশ্য যেমন জানা যায়, তেমনি সোডিয়ামের সঙ্গে সপ্তম শ্রেণির ক্লোরিন কিংবা চতুর্থ শ্রেণির কার্বনের বৈসাদৃশ্য লক্ষ করার মতো। পর্যায়-সারণিতে মৌলগুলির সমস্ত ধর্মের আবর্তন মোটামুটি একই রকমের হয়। পারমাণবিক সংখ্যা অনুসারে মৌলগুলিকে সাজানোর ফলে মৌলগুলির বিভিন্ন ধর্মের যে পর্যায়বৃত্তি ঘটে, সেগুলি হল ঃ

(1) ভৌতধর্মের পর্যায়বৃত্তি (Periodicity of Physical Properties) ঃ বিভিন্ন মৌলের **ঘনত্ব** (Density), **গলনাঙ্ক** (Melting point), **স্ফুটনাঙ্ক** (Boiling point) ইত্যাদি ভৌত ধর্মগুলির পর্যায়বৃত্তি পর্যায়-সারণিতে স্পষ্টভাবে লক্ষ করা যায়।

(i) ঘনত্বের পর্যায়বৃত্তি ঃ কঠিন অবস্থায় মৌলগুলির পারমাণবিক সংখ্যা বাড়ার সঙ্গে সঙ্গে ওদের ঘনত্বের পর্যায়ক্রমে পরিবর্তন ঘটে। মৌলগুলির এইরকম ঘনত্বের পরিবর্তন নীচে ছকের সাহায্যে দেখানো হল।

শ্রেণি	IA (1)	II A (2)	III A (13)	IV A (14)	V A (15)	VI A (16)	VIIA (17)
পর্যায়–2	$_3$Li	$_4$Be	$_5$B	$_6$C	$_7$N	$_8$O	$_9$F
ঘনত্ব →	0·53	1·86	2·34	3·51	0·96	1·27	1·1
পর্যায়–3	$_{11}$Na	$_{12}$Mg	$_{13}$Al	$_{14}$Si	$_{15}$P	$_{16}$S	$_{17}$Cl
ঘনত্ব →	0·97	1·74	2·74	2·42	2·2	2·07	1·57

এই ছকে দেখা যায় মৌলের ঘনত্ব III শ্রেণি/IV শ্রেণি পর্যন্ত বাড়তে থাকে তারপর আবার কমতে থাকে। Cl-এর ঘনত্ব তরল অবস্থায় নেওয়া হয়েছে। একই শ্রেণির মৌলগুলির ঘনত্ব নীচের দিকে বৃদ্ধি পায়।

(ii) গলনাঙ্ক এবং স্ফুটনাঙ্কের পর্যায়ক্রম ঃ বিভিন্ন মৌলের গলনাঙ্ক এবং স্ফুটনাঙ্কের ক্ষেত্রে দেখা যায় যে পারমাণবিক গুরুত্ব বাড়ার সঙ্গে সঙ্গে যে কোনো পর্যায়ে I শ্রেণি থেকে IV শ্রেণি পর্যন্ত মৌলগুলির স্ফুটনাঙ্ক ও গলনাঙ্ক ক্রমশ কমতে থাকে।

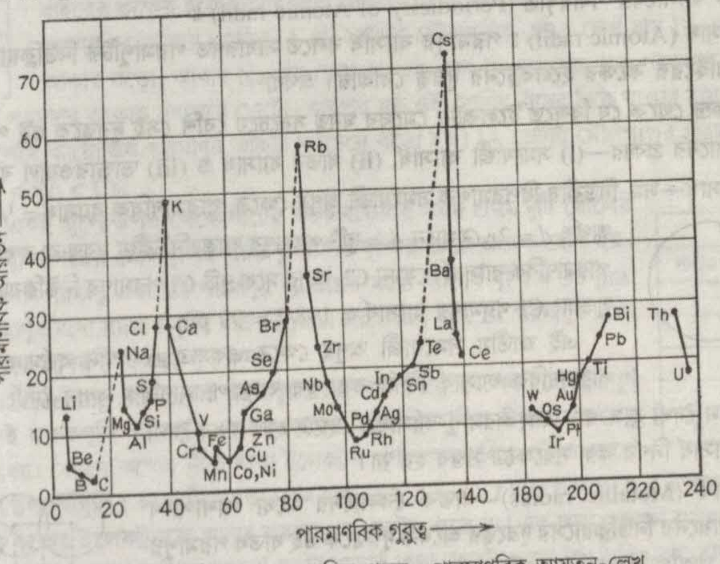
শ্রেণি	IA (1)	II A (2)	III A (13)	IV A (14)	V A (15)	VI A (16)	VIIA (17)
পর্যায়—2	$_3$Li	$_4$Be	$_5$B	$_6$C	$_7$N	$_8$O	$_9$F
গলনাঙ্ক (°C)	186	1280	2300	3500	(–210)	(–218)	(–224)
স্ফুটনাঙ্ক (°C)	1600	1500	2550	4200	(–196)	(–187)	(–187)

(iii) তড়িৎ পরিবাহিতা ঃ কোনো পর্যায়ের বামদিক থেকে যত ডানদিকে যাওয়া যায় মৌলগুলির ধাতব ধর্ম কমতে থাকে, তাই পর্যায়-সারণির বামদিক থেকে যত ডানদিকে যাওয়া যায় মৌলগুলির তড়িৎ পরিবাহিতা ধর্ম হ্রাস পেতে থাকে। যেমন তৃতীয় পর্যায়ে ডানদিকে Na, Mg, Al হল উত্তম তড়িৎ পরিবাহী কিন্তু এর পরের Si, P, S ইত্যাদি মৌলগুলি খুব দুর্বল তড়িৎ পরিবাহী বা অপরিবাহী।

(2) পারমাণবিক আয়তন (Atomic volume) **ঃ কোনো মৌলের এক গ্রাম-পরমাণুর (gm-atom) আয়তনকে ওই মৌলের পারমাণবিক আয়তন বলে। মৌলের গ্রাম পারমাণবিক ওজনকে ওর ঘনত্ব দিয়ে ভাগ করলে মিলিলিটার এককে মৌলটির পারমাণবিক আয়তন পাওয়া যায়।** অর্থাৎ

$$\text{পারমাণবিক আয়তন} = \frac{\text{গ্রাম পারমাণবিক ওজন}}{\text{ঘনত্ব (গ্রাম/ml)}}$$

লোথার মেয়ার প্রথম দেখান যে, **মৌলগুলির পারমাণবিক আয়তন ওদের পারমাণবিক গুরুত্ব বা পারমাণবিক সংখ্যা বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে পর্যায়ক্রমে আবর্তিত হয়।** তিনি বিভিন্ন মৌলের পারমাণবিক গুরুত্বকে *X*-অক্ষ বরাবর এবং পারমাণবিক আয়তনকে *Y*-অক্ষ বরাবর ধরে যে লেখচিত্র পান সেই লেখটি দেখতে সপ্তশীর্ষ তরঙ্গের মতো (চিত্র 7.1)। পারমাণবিক গুরুত্ব বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে মৌলের পারমাণবিক আয়তন কীভাবে আবর্তিত হয় তা এই লেখচিত্র থেকে স্পষ্ট বোঝা যায়। যেমন—



চিত্র 7.1 ঃ মৌলের পারমাণবিক গুরুত্ব—পারমাণবিক আয়তন-লেখ

(i) ক্ষার ধাতুর অবস্থান—লেখচিত্রের প্রতিটি তরঙ্গের শীর্ষে এক-একটি পর্যায়ের প্রথম মৌল সক্রিয় ও হালকা ধাতুগুলি অবস্থান করে। যেমন, প্রথম তরঙ্গশীর্ষে Li, দ্বিতীয় শীর্ষে Na, তৃতীয়টির শীর্ষে K, চতুর্থটিতে Rb ইত্যাদি অবস্থান করে।

(ii) সন্ধিগত মৌলের অবস্থান—প্রতি তরঙ্গের নীচে ভারী অপেক্ষাকৃত কম সক্রিয়, উচ্চ গলনাঙ্ক বিশিষ্ট সন্ধিগত ধাতুগুলি (Cr, Mn, Fe, Co, Ni) অবস্থান করে।

(iii) অধাতুর অবস্থান—লক্ষ করলে দেখা যায় প্রতি তরঙ্গের বাম পার্শ্বে ঊর্ধ্বমুখী দিকে শীর্ষবিন্দুর বামদিকের অংশে ইলেকট্রোনেগেটিভ মৌলগুলি অর্থাৎ অধাতুগুলি—যেমন, S, Se, Te, F, Cl, Br এবং I অবস্থান করে। এদের ইলেকট্রোনেগেটিভিটি, তরঙ্গ শীর্ষের দিকে এগিয়ে যাওয়ার সঙ্গে সঙ্গে বাড়তে থাকে।

(iv) ধাতুর অবস্থান—প্রতিটি তরঙ্গের নিম্নমুখী দিকে শীর্ষবিন্দুর ডানদিকের অংশে ধাতুগুলি যেমন, Be, Mg, Ca, Sr স্থান পায়।

(v) পারমাণবিক আয়তন লেখ এবং পর্যায়-সারণি লক্ষ করলে দেখা যাবে যে, লেখচিত্রে সদৃশ স্থান অধিকারী মৌলগুলি পর্যায়-সারণিতে একই শ্রেণিতে অবস্থান করে।

(vi) কোনো পর্যায়ে মৌলের পারমাণবিক সংখ্যা বাড়ার সঙ্গে সঙ্গে অর্থাৎ ওই পর্যায়ে বামদিক থেকে যত ডানদিকে যাওয়া যায়, মৌলগুলির পারমাণবিক আয়তন প্রথমে কমতে থাকে এবং একটি সর্বনিম্ন মানে পৌঁছানোর পর আবার পরের দিকে বাড়তে থাকে। পর্যায়টি শেষ হলে পর, পরের পর্যায়ে ঠিক একই ঘটনার পুনরাবৃত্তি হয়।

(vii) আবার একই শ্রেণিতে অবস্থিত মৌলগুলির ক্ষেত্রে দেখা যায় যে, যত নীচের দিকে যাওয়া যায়, যদিও ওদের যোজক ইলেকট্রনের সংখ্যা একই থাকে, শক্তি স্তরের অর্থাৎ মৌলগুলির মুখ্য কক্ষের সংখ্যা বাড়তে থাকে তাই পারমাণবিক আয়তন ক্রমে বৃদ্ধি পেতে থাকে। দ্বিতীয় এবং তৃতীয় পর্যায়ের মৌলগুলির পারমাণবিক আয়তনের হ্রাস-বৃদ্ধির ক্রম নীচের ছকে দেখানো হল ঃ

	শ্রেণি →	IA (1)	II A (2)	III A (13)	IV A (14)	V A (15)	VI A (16)	VIIA (17)
পর্যায়—2	মৌল →	$_3Li$	$_4Be$	$_5B$	$_6C$	$_7N$	$_8O$	$_9F$
	পাঃ আয়তন →	13	5	4·8	4	14	11	15
পর্যায়—3	মৌল →	$_{11}Na$	$_{12}Mg$	$_{13}Al$	$_{14}Si$	$_{15}P$	$_{16}S$	$_{17}Cl$
	পাঃ আয়তন →	24·7	13·9	9·9	11·6	12·8	15·4	23·5

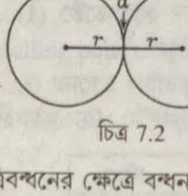
(3) পারমাণবিক ব্যাসার্ধের পর্যায়বৃত্তি (Periodicity of Atomic radii) ঃ

পারমাণবিক ব্যাসার্ধ (Atomic radii) ঃ **পরমাণুর ব্যাসার্ধ বলতে সাধারণত পরমাণুটির নিউক্লিয়াসের কেন্দ্র থেকে, ওই পরমাণুর সবচেয়ে বাইরের কক্ষের ইলেকট্রনের দূরত্ব বোঝায়।** অথবা

নিউক্লিয়াসের কেন্দ্র থেকে যে বিন্দুতে ইলেকট্রন মেঘের ঘনত্ব সবচেয়ে বেশি সেই দূরত্বকে ওই পরমাণুর ব্যাসার্ধ বলে।

পারমাণবিক ব্যাসার্ধের প্রকার—**(i) সমযোজী ব্যাসার্ধ, (ii) ধাতব ব্যাসার্ধ ও (iii) ভান্ডারওয়াল ব্যাসার্ধ।**

(i) সমযোজী ব্যাসার্ধ—সম-নিউক্লীয় দ্বিপরমাণুক সমযোজী অণুর ক্ষেত্রে, পারমাণবিক ব্যাসার্ধ = $^1/_2$ আন্তঃনিউক্লীয় দূরত্ব।

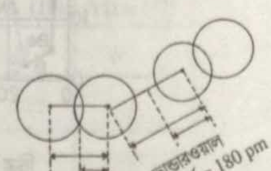


চিত্র 7.2

অর্থাৎ $d = 2r$ যেখানে d = দুটি পরমাণুর আন্তঃনিউক্লীয় দূরত্ব বা বন্ধন দৈর্ঘ্য, r = সমযোজী পারমাণবিক ব্যাসার্ধ। যেমন Cl_2 অণুর মধ্যে দুটি Cl পরমাণুর নিউক্লিয়াসের দূরত্ব = 198 pm, সুতরাং Cl পরমাণুর ব্যাসার্ধ = 198/2 = 99 pm.

এই জাতীয় সমযোজী অণুর ক্ষেত্রে একমাত্র σ বন্ধন বর্তমান থাকে। তাই এক্ষেত্রে পারমাণবিক ব্যাসার্ধ নির্ণয় করা হয় আন্তঃপারমাণবিক বন্ধন দৈর্ঘ্য থেকে। দ্বিবন্ধন এবং ত্রিবন্ধনের ক্ষেত্রে বন্ধন দৈর্ঘ্য হ্রাস পায় এবং পরমাণু-ব্যাসার্ধও ছোটো হয়। বন্ধন দৈর্ঘ্য থেকে পারমাণবিক ব্যাসার্ধ নির্ণয় করা সবক্ষেত্রে সম্ভব হয় না।

(ii) ধাতব ব্যাসার্ধ (Metallic radius)—**ধাতব কেলাসের মধ্যে পাশাপাশি অবস্থিত দুটি ধাতব আয়নের নিউক্লিয়াসের দূরত্বের অর্ধেক দূরত্বকে ওই ধাতব পরমাণুর ব্যাসার্ধ বলে।** যেমন, পাশাপাশি অবস্থিত দুটি Cu পরমাণুর = 256 pm, সুতরাং Cu পরমাণুর ব্যাসার্ধ = 256/2 = 128 pm হবে।



চিত্র 7.3

(iii) ভান্ডারওয়াল ব্যাসার্ধ—একই মৌলের সবচেয়ে কাছের দুটি পৃথক অণুর মধ্যে দুটি পাশাপাশি পরমাণুর নিউক্লিয়াস দুটির দূরত্বকে ভান্ডারওয়াল-দূরত্ব বলে। ভান্ডারওয়াল দূরত্বের অর্ধেক দূরত্বকে ভান্ডারওয়াল ব্যাসার্ধ বলে (চিত্র 7.3)।

বিভিন্ন মৌলের পরমাণুর আকার বা ব্যাসার্ধও পারমাণবিক সংখ্যা বৃদ্ধির সঙ্গে পর্যায়ক্রমে আবর্তিত হয়।

(i) পর্যায়-সারণিতে দেখা যায়, **কোনো পর্যায়ে বামদিক থেকে যত ডানদিকে যাওয়া যায় অর্থাৎ মৌলগুলির পারমাণবিক সংখ্যা বৃদ্ধি পাওয়ার সঙ্গে সঙ্গে পরমাণুর আকার তথা ব্যাসার্ধ ততই হ্রাস পেতে থাকে।** এর কারণ হল, একই পর্যায়ে যত ডানদিকে যাওয়া যায় মুখ্যস্তর একই থাকে, কিন্তু নিউক্লিয়াসের চার্জ এক একক করে বেড়ে যেতে থাকে, সেই সঙ্গে অরবিট্যালের ইলেকট্রন সংখ্যাও একটি করে বেড়ে যেতে থাকে। ইলেকট্রন-সংখ্যা এবং নিউক্লিয়াসের চার্জ বেড়ে যায়, অথচ ইলেকট্রন স্তর একই থাকায় অরবিট্যালের ইলেকট্রন এবং নিউক্লিয়াসের প্রোটনের মধ্যে তড়িৎ-আকর্ষণ প্রবলতর হতে থাকে। এর ফলে ইলেকট্রনগুলি নিউক্লিয়াসের দিকে কিছুটা সরে যায়, ফলে পরমাণুর আয়তন তথা ব্যাসার্ধ কমে যায়। যেমন পরের পাতার

তালিকায় দেখা যায়, দ্বিতীয় পর্যায়ে প্রথম শ্রেণিতে Li পরমাণুর আকার সবচেয়ে বড়ো, এরপর Li থেকে যত ডানদিকে যাওয়া যায়, পরমাণুর আকার ততই কমতে থাকে, শেষে সপ্তম-শ্রেণিতে F-পরমাণুর আকার সবচেয়ে কম হয়।

যে কোনো পর্যায়ে IA শ্রেণির মৌলগুলির পরমাণুর আকার সবচেয়ে বড়ো এবং VIIA শ্রেণির হ্যালোজেন মৌলগুলির পরমাণুর আকার সবচেয়ে ছোটো হয়। তৃতীয় পর্যায়ে মৌলগুলির পরমাণুর আকার হ্রাসের ক্রম হল : **Na > Mg > Al > Si > P > S > Cl.**

শ্রেণি →	(1)	(2)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)
পরমাণু	Li	Be	B	C	N	O	F
পাঃ ব্যাসার্ধ pm	152	111	88	77	70	64	54
পরমাণু	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl
পাঃ ব্যাসার্ধ pm	180	160	143	117	110	104	99

(ii) একই শ্রেণিতে অবস্থিত মৌলগুলির ক্ষেত্রে উপর থেকে যত নীচের দিকে যাওয়া যায়, পরমাণুর আকার তথা ব্যাসার্ধ তত বৃদ্ধি পেতে থাকে। এর কারণ হল এই যে, একই শ্রেণিতে অবস্থিত মৌলগুলির ক্ষেত্রে একটি মৌল থেকে পরের পর্যায়ে বেশি পারমাণবিক সংখ্যাবিশিষ্ট মৌলে নিউক্লিয়াসের পজিটিভ চার্জ বৃদ্ধি পেলেও সঙ্গে সঙ্গে নতুন মুখ্যস্তর যুক্ত হয় অথচ ওই ইলেকট্রন স্তরে কম সংখ্যক ইলেকট্রন থাকে। এই অবস্থায় পরমাণুর নিউক্লিয়াসকে ঘিরে যে সমস্ত ইলেকট্রনপূর্ণ কক্ষগুলি আছে, সেইগুলি পরমাণুটির সবচেয়ে বাইরের কক্ষে উপস্থিত ইলেকট্রনগুলির ওপর নিউক্লিয়াসের আকর্ষণ বল কমিয়ে দেয় (আবরণী ক্ষমতা)। এর ফলে নিউক্লিয়াস এবং সবচেয়ে বাইরের কক্ষের ইলেকট্রনের মধ্যে আকর্ষণ বল শিথিল হয়, ফলে পারমাণবিক ব্যাসার্ধ অর্থাৎ পরমাণুর আকার বেড়ে যায়। যেমন IA (1) শ্রেণির মৌলগুলির ক্ষেত্রে দেখা যায় Li-এর চেয়ে Na পরমাণুর আকার বড়ো, আবার Na-এর চেয়ে K-এর এবং K-এর চেয়ে Rb পরমাণুর আকার আরও বড়ো। VIIA (17) শ্রেণির F পরমাণুর আকার সবচেয়ে ছোটো। তারপর যত ওই শ্রেণির নীচের দিকে যাওয়া যায়, পরমাণুগুলির আকার ক্রমশ বাড়তে থাকে, শেষে আয়োডিন পরমাণুর আকার সবচেয়ে বড়ো হয়। IA শ্রেণির মৌলগুলির পরমাণুর আকার বৃদ্ধি ক্রম হল : Li < Na < K < Rb < Cs.

পরমাণু	পাঃ ব্যাসার্ধ pm
Li	152 pm
Na	186 "
K	231 "
Rb	244 "
Cs	262 "

আবার দেখা যায়, **একই গ্রুপে উপর থেকে নীচের দিকে যাওয়ার সময় প্রথম দুটি মৌলের মধ্যে পরমাণু ব্যাসার্ধ বৃদ্ধি পরের মৌলগুলির পরমাণু ব্যাসার্ধ বৃদ্ধির চেয়ে অনেক বেশি হয়।** যেমন, গ্রুপ VIIA-তে F পরমাণু এবং Cl পরমাণুর ব্যাসার্ধের মধ্যে ব্যাসার্ধ বৃদ্ধি = 35 pm. কিন্তু Cl এবং Br পরমাণুর মধ্যে ব্যাসার্ধ বৃদ্ধি মাত্র 12 pm। এর কারণ হল, Br পরমাণুর মধ্যে $3d$ অর্বিট্যাল আছে, যার **আবরণী ক্ষমতা** খুব কম।

VII A (17) শ্রেণি		
পর্যায়	পরমাণু	ব্যাসার্ধ pm
2	F	64
3	Cl	99
4	Br	111
5	I	128
6	At	140

আবরণী ক্ষমতা (Screening power) : পরমাণুর কেন্দ্রককে ঘিরে যে সব ইলেকট্রনপূর্ণ কক্ষকগুলি আছে, সেই কক্ষকগুলি পরমাণুর যোজন কক্ষের ইলেকট্রনগুলির উপর কেন্দ্রকের আকর্ষণ বল কমিয়ে দেয়। যোজন কক্ষের নীচে থাকা ইলেকট্রন পূর্ণ কক্ষকগুলির এই ক্ষমতাকে আবরণী ক্ষমতা বলে। উপকক্ষগুলির আবরণী ক্ষমতার ক্রম হল—$s > p > d > f$। Br পরমাণুতে d উপকক্ষ থাকায় **নিউক্লিয়াসের প্রভাব থেকে যোজন কক্ষের ইলেকট্রনকে আবৃত করতে খুব একটা পারে না।** এর ফলে যোজন কক্ষের ইলেকট্রন নিউক্লিয়াস দ্বারা বেশি করে আকৃষ্ট হয়, ফলে পরমাণুর ব্যাসার্ধ যতটা বাড়ার কথা, ততটা বাড়ে না। তাই দেখা যায় একই গ্রুপে অবস্থিত শেষ দুই মৌলের মধ্যে পরমাণুর ব্যাসার্ধ বৃদ্ধির পরিমাণ সবচেয়ে কম হয়।

● **আয়নীয় ব্যাসার্ধ** (Ionic radii) : **(i) ক্যাটায়নের ক্ষেত্রে :** (*a*) ক্যাটায়ন উৎপন্নের সময় পরমাণুর সবচেয়ে বাইরের কক্ষের সব কটি ইলেকট্রন অপসারিত হয়, ফলে উৎপন্ন ক্যাটায়নে ওই পরমাণুটির সর্বশেষ কক্ষের ঠিক ভেতরের অপেক্ষাকৃত ছোটো কক্ষটি সর্বশেষ কক্ষে পরিণত হয়। এর ফলে মূল পরমাণুটির চেয়ে ওর ক্যাটায়নের ব্যাসার্ধ ছোটো হয়। (*b*) এছাড়া ক্যাটায়নে নিউক্লিয়াসের চার্জ বেশি হওয়ার জন্য অর্বিট্যালের ইলেকট্রন এবং নিউক্লিয়াসের প্রোটনের মধ্যে তড়িৎ আকর্ষণ বল আরও তীব্র হয়, ফলে ক্যাটায়নের ইলেকট্রন কক্ষকগুলি নিউক্লিয়াসের দিকে আরও তীব্রভাবে আকৃষ্ট হয়। তাই ক্যাটায়নের ব্যাসার্ধ, মূল পরমাণুর ব্যাসার্ধের চেয়ে আরও কমে যায়। যেমন, Na-এর ব্যাসার্ধ 157 pm এবং Na^+-এর ব্যাসার্ধ 95 pm। (*c*) কোনো মৌলের একাধিক ক্যাটায়ন থাকলে যে ক্যাটায়নের পজিটিভ চার্জ বেশি, সেই ক্যাটায়নের ব্যাসার্ধ কম হয়। অর্থাৎ **পজিটিভ চার্জ বাড়ার সঙ্গে সঙ্গে ক্যাটায়নের ব্যাসার্ধ কমে যায়।** যেমন,

Fe^{2+}—ব্যাসার্ধ 75 pm $\qquad$ Fe^{3+}—ব্যাসার্ধ 60 pm

(ii) অ্যানায়নের ক্ষেত্রে বিপরীত ঘটনা ঘটে। (*a*) অ্যানায়নে নিউক্লিয়াসের পজিটিভ চার্জের চেয়ে, ইলেকট্রনের সংখ্যা, তথা মোট নেগেটিভ চার্জ বেশি হওয়ার জন্য ইলেকট্রনগুলির ওপর নিউক্লিয়াসের আকর্ষণ বল কমে যায়। (*b*) তাছাড়া **নেগেটিভ**

চার্জযুক্ত অ্যানায়নের যোজন কক্ষের ইলেকট্রনগুলির মধ্যে পারস্পরিক বিকর্ষণের ফলে ওই সর্বশেষ কক্ষটি বিস্তৃত হয়, তাই অ্যানায়নটির আয়তন এবং ব্যাসার্ধ বেড়ে যায় অর্থাৎ মূল পরমাণুর চেয়ে অ্যানায়নের ব্যাসার্ধ বড়ো হয়।

যেমন, Cl পরমাণুর ব্যাসার্ধ 99 pm Cl^- আয়নের ব্যাসার্ধ 1·81 pm

মৌলগুলির আয়নীয় ব্যাসার্ধও পর্যায়ক্রমে আবর্তিত হয়। কোনো পর্যায়ের বামদিক থেকে যত ডানদিকে যাওয়া যায়, পরমাণুর-ক্রমাঙ্ক বাড়ার সঙ্গে সঙ্গে সমসংখ্যক ইলেকট্রনযুক্ত ক্যাটায়নগুলির ব্যাসার্ধ ক্রমশ কমতে থাকে। যেমন, তৃতীয় পর্যায়ে Na^+, Mg^{2+}, Al^{3+} আয়নগুলির বহির্নিউক্লীয় ইলেকট্রন সংখ্যা 10। এদের ক্রমহ্রাসমান আকার অনুসারে সাজালে নীচের ক্রমটি পাওয়া যায়। $Na^+ > Mg^{2+} > Al^{3+}$

● **Cl পরমাণুর ব্যাসার্ধ 0·99Å কিন্তু Cl^- আয়নের ব্যাসার্ধ 1·81Å হয়**—এর কারণ হল, Cl^- অ্যানায়নটি উৎপন্নের সময় Cl পরমাণুর সবচেয়ে বাইরের কক্ষে 1টি ইলেকট্রন যুক্ত হয়, এর ফলে উৎপন্ন Cl^- অ্যানায়নে নিউক্লিয়াসের পজিটিভ চার্জের চেয়ে ইলেকট্রন সংখ্যা তথা মোট নেগেটিভ চার্জ বেশি হয়ে যায়, এর ফলে সর্ববহিস্থ কক্ষে থাকা ইলেকট্রনগুলির উপর নিউক্লিয়াসের আকর্ষণ-বল কমে যায়। তাছাড়া **নেগেটিভ চার্জযুক্ত অ্যানায়নের (Cl^-) সর্ববহিস্থ কক্ষের ইলেকট্রনগুলির মধ্যে পারস্পরিক বিকর্ষণের প্রভাবে ওই সর্বশেষ কক্ষটি বিস্তৃত হয়, তাই Cl^- অ্যানায়নটির আয়তন এবং ব্যাসার্ধ বেড়ে যায় অর্থাৎ মূল Cl পরমাণুর ব্যাসার্ধের চেয়ে Cl^- অ্যানায়নের ব্যাসার্ধ বড়ো হয়। Cl পরমাণুর ব্যাসার্ধ = 0·99Å, Cl^--এর ব্যাসার্ধ = 1·81Å।**

● **K পরমাণুর ব্যাসার্ধ = 2·31Å কিন্তু K^+ আয়নের ব্যাসার্ধ 1·33Å অর্থাৎ কম হয়**—এর কারণ হল, ক্যাটায়ন যেমন—K^+ উৎপন্নের সময় K পরমাণুর সবচেয়ে বাইরের কক্ষের ইলেকট্রন অপসারিত হয়, ফলে উৎপন্ন ক্যাটায়নে (K^+) ওই পরমাণুটির সর্বশেষ কক্ষের ঠিক ভেতরের অপেক্ষাকৃত ছোটো কক্ষটি সর্বশেষ কক্ষে পরিণত হয়। এর ফলে মূল (K) পরমাণুটির চেয়ে ওর ক্যাটায়নের (K^+) ব্যাসার্ধ ছোটো হয়। এছাড়া ক্যাটায়নের নিউক্লিয়াসের চার্জ বেশি হওয়ার জন্য অর্বিট্যালের ইলেকট্রন এবং নিউক্লিয়াসের প্রোটনের মধ্যে তড়িৎ আকর্ষণ বল আরও তীব্র হয়, ফলে ক্যাটায়নের ইলেকট্রন কক্ষকগুলি নিউক্লিয়াসের দিকে আরও তীব্রভাবে আকৃষ্ট হয়। তাই K^+ ক্যাটায়নের ব্যাসার্ধ (1·33Å), মূল K পরমাণুর ব্যাসার্ধের (2·31Å) চেয়ে আরও ছোটো হয়।

IA শ্রেণির আয়ন	আয়নীয় ব্যাসার্ধ pm	VII A শ্রেণির আয়ন	আয়নীয় ব্যাসার্ধ pm
Li^+	60	F^-	136
Na^+	95	Cl^-	181
K^+	133	Br^-	195
Rb^+	148	I^-	216

(iii) একই শ্রেণির মৌলের ক্ষেত্রে পরমাণু-ক্রমাঙ্ক বাড়ার সঙ্গে সঙ্গে আয়নগুলির ব্যাসার্ধ বাড়তে থাকে। ওপরের সারণি থেকে বিষয়টি বোঝা যায়।

● **সন্ধিগত মৌলের ক্ষেত্রে কিন্তু পারমাণবিক ব্যাসার্ধ অথবা আয়নীয় ব্যাসার্ধের পরিবর্তন খুব বেশি হয় না।** নীচের চতুর্থ পর্যায়ের সন্ধিগত মৌলগুলির সারণি থেকে এটা বেশ বোঝা যায়।

মৌল →	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu
নিউক্লীয় চার্জ	21	22	23	24	25	26	27	28	29
পারমাণবিক ব্যাসার্ধ pm	144	122	122	118	117	117	116	115	116

এর কারণ হিসাবে বলা যায় যে, সন্ধিগত মৌলের সর্ববহিস্থ কক্ষে ইলেকট্রন-সংখ্যা সমান থাকে (এই ক্ষেত্রে $4s^2$, Cr এবং Cu ব্যতিক্রম) এবং Sc থেকে যত ডানদিকে যাওয়া যায় পারমাণবিক সংখ্যা তথা নিউক্লীয় চার্জ ততই বৃদ্ধি পায় এবং একটি করে ইলেকট্রন ভিতরের উপকক্ষে অর্থাৎ $3d$-তে প্রবেশ করে—বাইরের কক্ষের কোনো পরিবর্তন হয় না অর্থাৎ নিউক্লিয়াসের চার্জ বৃদ্ধি পাওয়ার সঙ্গে সঙ্গে সবচেয়ে বাইরের কক্ষে ইলেকট্রন-সংখ্যার কোনো পরিবর্তন না হওয়ার জন্য এবং d অর্বিট্যালের আবরণী ক্ষমতা কম হওয়ার জন্য আয়নীয় অথবা পারমাণবিক ব্যাসার্ধের কোনো উল্লেখযোগ্য পরিবর্তন হয় না।

(4) যোজ্যতার পর্যায়বৃত্তি ঃ পর্যায়-সারণিতে মৌলগুলি যে যে শ্রেণিতে অবস্থান করে, সেই অনুযায়ী ওদের যোজ্যতা হয়। **কাজেই বিভিন্ন মৌলের যোজ্যতাও প্রত্যেক পর্যায়ে আবর্তিত হয়।**

(i) একই পর্যায়ের মৌলগুলির যোজ্যতা যদি হাইড্রোজেন সংযুক্তি দ্বারা মাপা হয়, তবে মৌলের যোজ্যতা IA(1), IIA(2) শ্রেণি থেকে IIIA(13), IVA(14) শ্রেণি পর্যন্ত বাড়তে থাকে, পরে কমতে থাকে। IVA(14) শ্রেণির পর মৌলের যোজ্যতা = (8—শ্রেণির সংখ্যা) হয়। যেমন, VA(15) শ্রেণির N যখন H-এর সঙ্গে যুক্ত হয়ে NH_3 উৎপন্ন করে, তখন N-এর যোজ্যতা = (8 – 5) = 3।

(ii) একই পর্যায়ে মৌলগুলির যোজ্যতা **অক্সিজেনের সঙ্গে যুক্ত হওয়ার ক্ষমতা দিয়ে মাপলে** দেখা যায় পর্যায়-সারণিতে

কোনো মৌল যে শ্রেণিতে অবস্থান করে সেই শ্রেণির সংখ্যাই তার যোজ্যতা অর্থাৎ সবচেয়ে বাইরের কক্ষে উপস্থিত ইলেকট্রনের সংখ্যাই হল ওই মৌলের যোজ্যতা। যেমন, I শ্রেণির মৌল Na-এর যোজ্যতা = 1, দ্বিতীয় শ্রেণির Mg-এর যোজ্যতা = 2, তৃতীয় শ্রেণির Al-এর যোজ্যতা = 3, এইভাবে দেখা যায়, সপ্তম শ্রেণির Cl-এর যোজ্যতা = 7 হয়। ক্লোরিনের সঙ্গে যুক্ত হওয়ার ক্ষমতা অনুযায়ী যোজ্যতা বিচার করলে মৌলগুলির যোজ্যতা হাইড্রোজেন সংযুক্তি দ্বারা মাপা যোজ্যতার মত হয়।

(iii) পর্যায়-সারণিতে দেখা যায় একই যোজ্যতার মৌলগুলি একই শ্রেণির মধ্যে আছে। একই শ্রেণিভুক্ত মৌলগুলির সবচেয়ে বাইরের কক্ষের ইলেকট্রন-বিন্যাস একই রকম—অর্থাৎ যোজক-ইলেকট্রনের বিন্যাস একই রকম, তাই একই শ্রেণিভুক্ত মৌলগুলির যোজ্যতা একই হয়। যেমন, IA শ্রেণির Li, Na, K, Rb, Cs প্রভৃতির যোজ্যতা = 1; Mg, Ca, Sr প্রভৃতি IIA শ্রেণিতে আছে—এদের যোজ্যতা = 2।

তৃতীয় পর্যায়ের মৌলগুলির যোজ্যতা, ওদের অক্সাইড, হাইড্রাইড, ক্লোরাইডের ক্ষেত্রে কী হয় নীচে দেখানো হল—

শ্রেণি →	IA (1)	IIA (2)	IIIA (13)	IVA (14)	VA (15)	VIA (16)	VIIA (17)
মৌল	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl
O_2-এর মাপে যোজ্যতা	1	2	3	4	5	6	7
অক্সাইড	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	SO_3	Cl_2O_7
H_2-এর মাপে যোজ্যতা	1	2	3	4	3	2	1
হাইড্রাইড	NaH	—	—	SiH_4	PH_3	H_2S	HCl
ক্লোরাইড	NaCl	$MgCl_2$	$AlCl_3$	$SiCl_4$	PCl_3		

(5) আয়নন বা আয়নীভবন বিভব বা এনথ্যালপি (Ionisation potential or enthalpy) **ঃ কোনো মৌলের গ্যাসীয় অবস্থায় ওর কোনো প্রশম ও বিচ্ছিন্ন পরমাণুর স্থিতাবস্থায়, পরমাণুটির সবচেয়ে বাইরের কক্ষের সবচেয়ে আল্‌গাভাবে আবদ্ধ ইলেকট্রনটিকে নিউক্লিয়াসের আকর্ষণী ক্ষেত্র থেকে সম্পূর্ণভাবে অপসারিত করে, পরমাণুটিকে গতিশক্তিহীন একক চার্জযুক্ত পজিটিভ আয়নে পরিণত করতে ন্যূনতম যে শক্তির প্রয়োজন হয়, তাকে ওই পরমাণুর প্রথম আয়নীভবন বিভব বা আয়নীভবন এনথ্যালপি বলে।**

অর্থাৎ, নীচের বিক্রিয়াটির জন্য *A* পরমাণুর এনথ্যালপির যে পরিবর্তন (ΔH) তাকে ওই মৌলটির প্রথম আয়নীভবন বিভব বা প্রথম আয়নীভবন এনথ্যালপি বলে।

$$A(g) + I_1 \rightarrow A^+(g) + e^-(g)$$

A(g): গ্যাসীয় অবস্থায় একক পরমাণু; I_1: প্রয়োজনীয় শক্তি = আয়নীভবন বিভব; $A^+(g)$: গ্যাসীয় ক্যাটায়ন; $e^-(g)$: নিউক্লীয় আকর্ষণক্ষেত্র থেকে অসীম দূরত্বে অপসারিত ইলেকট্রন

সর্বনিম্ন শক্তিস্তরে থাকাকালে কোনো গ্যাসীয় প্রশম পরমাণু *A*-কে A^+ আয়নে পরিণত করতে যদি ন্যূনতম I_1 শক্তির প্রয়োজন হয়, তবে *A*-এর **প্রথম আয়নীভবন বিভব** = I_1। **ইলেকট্রন ভোল্ট একক** (eV) বা **কিলো জুল/মোল** একক দ্বারা আয়নীভবন বিভব পরিমাপ করা হয়।

অনুরূপ অবস্থায় *A*-এর দ্বিতীয় ইলেকট্রনগুলিকে অপসারিত করে A^{+2} আয়নে পরিণত করতে প্রয়োজনীয় ন্যূনতম শক্তিকে ওই পরমাণুর দ্বিতীয় (I_2) আয়নীভবন বিভব বলা হয়।

$$A^{+1}(g) + I_2 \longrightarrow A^{+1}(g) + e^-(g)$$

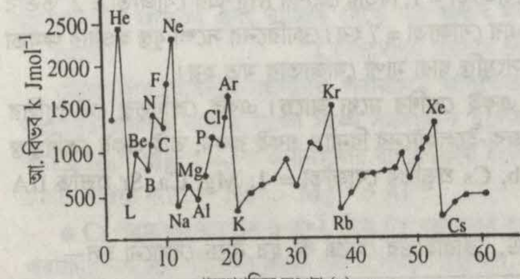
I_1, I_2 মানের ক্রম হল $I_1 < I_2$।

উল্লেখ করা না থাকলে, আয়নীভবন বিভব বলতে প্রথম আয়নীভবন বিভবই বোঝায়।

● **মৌলের আয়নীভবন বিভবের মান নীচের কারকগুলির উপর নির্ভর করে—**

(i) পরমাণুটির আয়তন অর্থাৎ পারমাণবিক ব্যাসার্ধের উপর ঃ পরমাণুর আয়তন তথা ব্যাসার্ধ যত বড়ো হবে আয়নীভবন বিভবের মান তত কম হবে। এর কারণ হল, পরমাণু-ব্যাসার্ধের মান বেশি হলে পরমাণুর নিউক্লিয়াস এবং সবচেয়ে বাইরের কক্ষের দূরত্ব বেড়ে যায়, ফলে যোজন কক্ষের ইলেকট্রন এবং নিউক্লিয়াসের মধ্যে আকর্ষণ বল কমে যায়। এর ফলে ওই ইলেকট্রনকে অপসারিত করতে কম শক্তির প্রয়োজন হয় অর্থাৎ মৌলের আয়নীভবন বিভবের মান কমে যায়।

(ii) পরমাণুটির নিউক্লীয় চার্জের উপর ঃ অন্যান্য কারকগুলির পরিবর্তন না হলে, পরমাণুর নিউক্লীয় চার্জের পরিমাণ বেশি হলে, নিউক্লিয়াস এবং যোজন কক্ষের ইলেকট্রনের মধ্যে আকর্ষণ বল বেড়ে যায়। এর ফলে যোজন কক্ষের ইলেকট্রনকে অপসারিত করতে বেশি শক্তির প্রয়োজন হয়, ফলে আয়নীভবন বিভবের মান বাড়ে। নির্দিষ্ট পর্যায়ের মৌলগুলির ক্ষেত্রে পর্যায়ের বামদিক থেকে যত ডানদিকে যাওয়া যায়, পরমাণুগুলির নিউক্লীয় চার্জের পরিমাণ বাড়তে থাকে, ফলে সাধারণত মৌলগুলির আয়নীভবন বিভবের মান বাড়ে (দু-একটি ক্ষেত্রে ব্যতিক্রম দেখা যায়)। সুতরাং দেখা গেল, একটি নির্দিষ্ট পর্যায়ে, ক্ষারীয় ধাতুর আয়নীভবন বিভব সবচেয়ে কম এবং নিষ্ক্রিয় গ্যাসের আয়নীভবন বিভব সবচেয়ে বেশি।

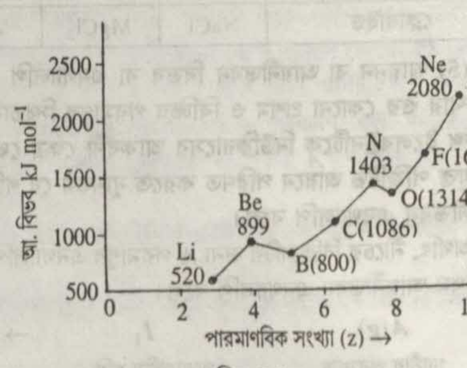


চিত্র 7.4

(iii) অর্ধপূর্ণ বা সম্পূর্ণ ভর্তি অর্বিট্যালের উপর ঃ হুন্ডের সূত্রানুযায়ী কোনো পরমাণুর **কোনো অর্বিট্যাল ইলেকট্রন দ্বারা অর্ধপূর্ণ বা সম্পূর্ণ ভর্তি অবস্থায় থাকলে, সেই পরমাণুটি খুব সুস্থিত হয়।** ফলে ওই পরমাণু থেকে ইলেকট্রন অপসারিত করতে বেশি শক্তির দরকার হয়, যার জন্য ওই পরমাণুর আয়নীভবনের মান যা হওয়ার কথা, তার চেয়ে বেশি হয় (যেমন, দ্বিতীয় পর্যায়ের Be এবং N এর ক্ষেত্রে দেখা যায়)।

(iv) পরমাণুর সর্ববহিস্থ কক্ষের ইলেকট্রন-বিন্যাসের উপর আয়নীভবন বিভব নির্ভর করে। যদি কোনো পরমাণু বা আয়নের সর্ববহিস্থ কক্ষের **ইলেকট্রন-বিন্যাস ns^2np^6 হয়, তাহলে ওই পরমাণু বা আয়নীভবন বিভবের মান খুব বেশি হয়।** কারণ এক্ষেত্রে সবচেয়ে বাইরের কক্ষে ইলেকট্রন অষ্টক পূর্ণ থাকে যেমন, নিষ্ক্রিয় গ্যাস।

(v) ইলেকট্রনের কক্ষপথের আকৃতির উপর ঃ যে ইলেকট্রনটিকে পরমাণু থেকে অপসারিত করতে হবে, তার কক্ষপথের আকৃতি যদি এমন হয় যে, ওই কক্ষপথটি ভেতরের অন্যান্য কক্ষপথগুলির মধ্য দিয়ে নিউক্লিয়াসের কাছাকাছি যেতে পারে, তাহলে ওই কক্ষে থাকা ইলেকট্রনটির উপর ভেতরের কক্ষের ইলেকট্রনগুলি যে আবরণী ক্ষমতা প্রয়োগ করতে সমর্থ হত সেই ক্ষমতা অনেকটা কমে যায়। এর ফলে ইলেকট্রনটির উপর নিউক্লিয়াসের প্রভাব যতটা কমার কথা ছিল, ততটা কমে না। ফলে আয়নীভবন বিভবের মান কমে না।



চিত্র 7.5

(vi) একই মুখ্যস্তরে s অর্বিট্যালের ইলেকট্রন, p অর্বিট্যাল ইলেকট্রনের চেয়ে নিউক্লিয়াসের বেশি কাছে থাকে। সুতরাং p ইলেকট্রনের চেয়ে s ইলেকট্রন নিউক্লিয়াস দ্বারা বেশি আকৃষ্ট হয়। তাই p ইলেকট্রনের চেয়ে s ইলেকট্রনকে অপসারিত করতে বেশি শক্তির প্রয়োজন হয়। সাধারণভাবে বলা যায়, আয়নীভবনশক্তির ক্রমহ্রাসমান ক্রম হল $s > p > d > f$ (একই মুখ্যস্তরের অর্বিট্যাল)।

(vii) পরমাণুটির সর্ববহিঃস্থ কক্ষের নীচে অবস্থিত ইলেকট্রনপূর্ণ কক্ষগুলির আবরণী ক্ষমতার (Screening effect) **উপর**—পরমাণুর নিউক্লিয়াসকে ঘিরে যে সমস্ত ইলেকট্রনপূর্ণ কক্ষকগুলি আছে, সেই ইলেকট্রনপূর্ণ কক্ষকগুলি, পরমাণুটির সবচেয়ে বাইরের কক্ষে উপস্থিত ইলেকট্রনগুলির উপর নিউক্লিয়াসের আকর্ষণ বল কমিয়ে দেয়। সবচেয়ে বাইরের কক্ষের নীচের ইলেকট্রনপূর্ণ কক্ষকগুলির এই ক্ষমতাকে আবরণী ক্ষমতা বলে। উপকক্ষগুলির আবরণী ক্ষমতার ক্রম হল—$s > p > d > f$ অর্থাৎ s-উপকক্ষে অবস্থিত ইলেকট্রনের আবরণী ক্ষমতা সবচেয়ে বেশি এবং f-উপকক্ষের ইলেকট্রনের আবরণী ক্ষমতা সবচেয়ে কম, তাই f উপকক্ষ উপস্থিত থাকলে যোজন কক্ষের ইলেকট্রনের উপর কেন্দ্রকের আকর্ষণ বল বেড়ে যায়।

● **যদিও K এবং Cu উভয় পরমাণুর সবচেয়ে বাইরের কক্ষে $4s^1$ ইলেকট্রন বর্তমান, তবু K-এর চেয়ে Cu-এর আয়নীভবন বিভব বেশি।** এর কারণ হল কোনো পরমাণুর সর্ববহিস্থ কক্ষের নীচে অবস্থিত কক্ষকগুলির মধ্যে s ইলেকট্রনের আবরণী ক্ষমতা সবচেয়ে বেশি আর d এবং f ইলেকট্রনের বহিস্থ কক্ষের ইলেকট্রনকে নিউক্লিয়াসের আকর্ষণ থেকে আবৃত করার

ক্ষমতা সবচেয়ে কম। সাধারণত উপকক্ষগুলির আবরণী ক্ষমতার ক্রম হল $s > p > d > f$। এখন K-পরমাণুর সবচেয়ে বাইরের কক্ষের নীচে d উপকক্ষ নেই, কিন্তু Cu পরমাণুর সবচেয়ে বাইরের কক্ষের নীচে d উপকক্ষ আছে। Cu পরমাণুর মধ্যে এই d উপকক্ষের আবরণী ক্ষমতা কম বলে ওর $4s^1$ ইলেকট্রনটিকে নিউক্লিয়াস বেশি শক্তি দ্বারা আকর্ষণ করে, তাই Cu-এর $4s^1$ ইলেকট্রনকে বিচ্ছিন্ন করতে বেশি শক্তির দরকার। এই কারণে Cu-এর আয়নীভবন বিভব K-এর চেয়ে বেশি।

[Cu-এর আয়নায়ন বিভব = 7·73 eV; K-এর আয়নায়ন বিভব = 4·33 eV]

(*a*) **একই পর্যায়ে মৌলগুলির পরমাণু-ক্রমাঙ্ক বাড়ার সঙ্গে সঙ্গে আয়নীভবন বিভব সাধারণত বাড়তে থাকে,** কারণ নিউক্লীয় চার্জ বাড়ার সঙ্গে সঙ্গে সর্ববহিস্থ কক্ষের ইলেকট্রন এবং নিউক্লিয়াসের মধ্যে তড়িৎ আকর্ষণ বৃদ্ধি পেতে থাকে। তাই সবচেয়ে বাইরের কক্ষের ইলেকট্রনকে অপসারিত করতে বেশি শক্তির দরকার হয়। দ্বিতীয় পর্যায়ের মৌলগুলির আয়নীভবন বিভবের ক্রমবৃদ্ধি দেখানো হল ঃ

শ্রেণি →	IA (1)	IIA (2)	IIIA (13)	IVA (14)	VA (15)	VIA (16)	VIIA (17)	0 (18)
পর্যায়—2	$_3Li$	$_4Be$	$_5B$	$_6C$	$_7N$	$_8O$	$_9F$	$_{10}Ne$
নিউক্লীয় চার্জ	+3	+4	+5	+6	+7	+8	+9	+10
যোজক ইলেকট্রন	$2s^1$	$2s^2$ 2s উপকক্ষ পূর্ণ	$2s^2 2p^1$	$2s^2\ 2p^2$	$2s^2\ 2p^3$ 2p অর্ধপূর্ণ	$2s^2\ 2p^4$	$2s^2\ 2p^5$	$2s^2\ 2p^6$ 2p পূর্ণ
আয়নীভবন বিভব kJ/মোল	520	899	800	1086	1403	1314	1681	2080

● **Be-এর আয়নীভবন বিভব B-এর চেয়ে বেশি।** একই পর্যায়ে বামদিক থেকে ডানদিকে যাওয়ার সময়, আয়নায়ন বিভবের ক্রমবর্ধমান মানগুলির মধ্যে কয়েকটি ক্ষেত্রে সামান্য ব্যতিক্রম দেখা যায়। এর কারণ হুন্ডের সূত্র দ্বারা ব্যাখ্যা করা যায়। এই সূত্র বলে যে, কোনো পরমাণুর কোনো উপকক্ষ ইলেকট্রন দ্বারা অর্ধপূর্ণ বা সম্পূর্ণ ভর্তি থাকলে—সেই পরমাণু খুব সুস্থিত হয়, সুতরাং ওই পরমাণু থেকে ইলেকট্রন অপসারিত করতে অপেক্ষাকৃত বেশি শক্তির দরকার হয়। তাই পর্যায়-সারণিতে অবস্থান অনুযায়ী ওই পরমাণুর আয়নীভবন বিভব যা হওয়া উচিত তার চেয়ে বেশি হয়। তাই দেখা যায় Be-এর *I.P.* এর মান B-এর চেয়ে বেশি। Be-এর $2s$ উপকক্ষটি সম্পূর্ণ ভর্তি অথচ B-এর $2p$ উপকক্ষ সম্পূর্ণ ভর্তি নয় বা অর্ধপূর্ণও নয়। আবার B-এর বহিস্থ ইলেকট্রন হল $2p$ এবং Be-এর $2s$। যেহেতু একই মুখ্যস্তরের p ইলেকট্রন নিউক্লিয়াস থেকে s ইলেকট্রনের চেয়ে বেশি দূরে থাকে, তাই p ইলেকট্রনকে কক্ষ থেকে অপসারিত করতে কম শক্তির প্রয়োজন হয়। সেইজন্য Be-এর *IP*-র মান B-এর চেয়ে বেশি। N পরমাণুর $2p$ উপকক্ষ অর্ধপূর্ণ আর O পরমাণুর $2p$ উপকক্ষ সম্পূর্ণ ভর্তি নয় বা অর্ধপূর্ণও নয়—তাই N পরমাণু O পরমাণুর চেয়ে বেশি সুস্থিত, ফলে N পরমাণুর *IP* 1403 kJ/মোল O পরমাণুর *IP*-এর 1314 kJ/মোল-এর চেয়ে বেশি।

(*b*) **একই শ্রেণির মৌলগুলির ক্ষেত্রে উপর থেকে যত নীচের দিকে যাওয়া হয়** নিউক্লিয়াস থেকে সর্ববহিস্থ কক্ষের ইলেকট্রনের দূরত্ব বাড়তে থাকে বলে ওর উপর নিউক্লিয়াসের আকর্ষণ কমে যায়, ফলে **আয়নীভবন বিভব কমে।** IA শ্রেণির আয়নীভবন বিভবের মান থেকে বিষয়টি বোঝা যায়।

পর্যায়	IA	আয়নীভবন বিভব
2	Li	520 kJ/মোল
3	Na	496 " "
4	K	419 " "
5	Rb	403 " "
6	Cs	374 " "

[এর কারণ হল (i) কোনো শ্রেণির যত নীচের দিকে যাওয়া যায় পরমাণুর ব্যাসার্ধ তত বাড়তে থাকে। ফলে সবচেয়ে বাইরের কক্ষের ইলেকট্রন এবং নিউক্লিয়াসের মধ্যে দূরত্ব বাড়ে এবং আকর্ষণ বল কমতে থাকে, ফলে বাইরের কক্ষের ইলেকট্রনকে অপসারিত করতে অপেক্ষাকৃত কম শক্তির দরকার হয়। ফলে যত নীচের দিকে যাওয়া হয় *IP* এর মান তত কমতে থাকে। (ii) এছাড়া যত নীচের দিকে যাওয়া হয় পরমাণুর কক্ষের সংখ্যা বাড়তে থাকে। ভেতরের কক্ষের ইলেকট্রনগুলি সবচেয়ে বাইরের কক্ষের ইলেকট্রনগুলির উপর একটা বিকর্ষণ বল প্রয়োগ করে যা নিউক্লীয় আকর্ষণ বলের বিরুদ্ধে কাজ করে। এই আবরণী ক্ষমতা কোনো গ্রুপের যত নীচের দিকে যাওয়া হয় তত বাড়ে, ফলে *IP* এর মান কমে যেতে থাকে।]

(6) ইলেকট্রন-আসক্তি বা ইলেকট্রন-গ্রহণ এনথ্যালপি (Electron affinity or Enthalpy of electron attraction) ঃ

কোনো মৌলের গ্যাসীয় অবস্থায়, বিচ্ছিন্ন একটি পরমাণুর স্থিতাবস্থায় পরমাণুটির সর্ব বাইরের কক্ষে একটি অতিরিক্ত ইলেকট্রন যোগ করে একক নেগেটিভ চার্জযুক্ত গ্যাসীয় আয়নে পরিণত করতে যে পরিমাণ শক্তি মুক্ত হয় তাকে ওই পরমাণুর ইলেকট্রন-আসক্তি বলে।

$$A(g) + e^-(g) \rightarrow A^-(g) + \text{মুক্ত শক্তি } E_A \text{ বা } \Delta H$$

স্থিত গ্যাসীয় অবস্থায় বিচ্ছিন্ন পরমাণু; (ইলেকট্রন আসক্তি বা ইলেকট্রন-গ্রহণ এনথ্যালপি A পরমাণুর = E_A)

সুতরাং **প্রশম পরমাণুতে ইলেকট্রন যোগ করা হল তাপমোচী প্রক্রিয়া।** বেশির ভাগ মৌলের ক্ষেত্রে ইলেকট্রন যোগ করার ফলে শক্তি মুক্ত হয় যার জন্য ইলেকট্রন-গ্রহণ এনথ্যালপি বা ইলেকট্রন আসক্তি নেগেটিভ হয়। যেমন, Gr-17 অর্থাৎ VIIA গ্রুপের মৌলগুলির ইলেকট্রন গ্রহণ এনথ্যালপির মান সবচেয়ে নেগেটিভ হয়—এর কারণ ওই মৌলগুলি মাত্র 1টি ইলেকট্রন গ্রহণ করলেই নিষ্ক্রিয় গ্যাসের ইলেকট্রন বিন্যাস লাভ করে সুস্থিত অবস্থায় আসে। অপরদিকে নোবল গ্যাসগুলির ইলেকট্রন গ্রহণ এনথ্যালপির মান, উচ্চ পজিটিভ মানের হয়। কারণ 1টি ইলেকট্রন নোবল গ্যাসের পরমাণুতে যুক্ত হলে ইলেকট্রন বিন্যাস খুব দুঃস্থিত হয়ে পড়ে।

কোনো মৌলের পরমাণুর ইলেকট্রন-আসক্তি এবং প্রথম আয়নীভবন বিভবের মান একই, তবে ইলেকট্রন-আসক্তির ক্ষেত্রে শক্তি মুক্ত হয় এবং আয়নীভবন বিভবের ক্ষেত্রে শক্তি শোষিত হয়। তাই এদের মান বিপরীত চিহ্ন যুক্ত হয়।

ইলেকট্রন-আসক্তির মান **ইলেকট্রন ভোল্ট এককে অথবা কিলো ক্যালরি মোল$^{-1}$ বা kJ mol^{-1} এককে প্রকাশ করা হয়।**

(i) কোনো পর্যায়ে বামদিক থেকে যত ডান দিকে যাওয়া যায় মৌলগুলির ইলেকট্রন-আসক্তি সাধারণত পরমাণু ক্রমাঙ্ক বাড়ার সঙ্গে সঙ্গে বাড়তে থাকে। তবে দ্বিতীয় পর্যায়ে Be, N এবং Ne-এর তৃতীয় পর্যায়ে Mg, P এবং Ar-এর ইলেকট্রন-আসক্তি অস্বাভাবিকভাবে কম।

শ্রেণি →	IA(1)	IIA(2)	IIIA (13)	IVA (14)	VA (15)	VIA (16)	VIIA (17)	0 (18)
পর্যায়—2	$_3Li$	$_4Be$	$_5B$	$_6C$	$_7N$	$_8O$	$_9F$	$_{10}Ne$
ইলেকট্রন-আসক্তি kJ/mol	−60	+66	−83	−122	+31	−141	−328	+116

(ii) একই গ্রুপে, পরমাণু ক্রমাঙ্ক বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে ইলেকট্রন-আসক্তি কমতে থাকে। সাধারণভাবে পর্যায়-সারণিতে ইলেকট্রন-আসক্তির ক্রমহ্রাসমান মান নীচের মতো হয়—

হ্যালোজেন > অক্সিজেন পরিবার > Gr IVA-এর অধাতুগুলি > নাইট্রোজেন পরিবার > Gr IA এবং Gr IIIA-এর ধাতুগুলি > Gr IIA-এর ধাতুগুলি।

ইলেকট্রন-গ্রহণ এনথ্যালপি বা ইলেকট্রন-আসক্তি kJ mol^{-1}

IA	EA	VIIA	EA	0	EA
Li	−60	F	−328	Ne	+116
Na	−53	Cl	−349	Ar	+96
K	−48	Br	−325	Kr	+96
Rb	−47	I	−295	Xe	+77
Cs	−46	At	−270	Rn	+68

● **ফ্লুওরিনের চেয়ে ক্লোরিনের ইলেকট্রন আসক্তির মান বেশি।** এর কারণ হল, ফ্লুওরিন পরমাণুর আকার খুব ছোটো তাই F পরমাণুতে ইলেকট্রন ঘনত্ব বেশি হয়—এতে মাত্র দুটি মুখ্যস্তর আছে— এর ফলে ভেতরের $2p$ ইলেকট্রনগুলির মধ্যে বিকর্ষণ বলের জন্য ইলেকট্রনগুলি F পরমাণুতে ইলেকট্রন যুক্ত হতে বাধা দেয়—তাই এক্ষেত্রে ইলেকট্রন যুক্ত করার সময় কিছুটা শক্তি প্রয়োগ করতে হয় অর্থাৎ শক্তি শোষিত হয়। তাই F^- আয়ন উৎপন্নে কম শক্তি মুক্ত হয় অর্থাৎ F পরমাণুর ইলেকট্রন আসক্তির মান কমে যায়। ক্লোরিন পরমাণুর আকার F পরমাণুর থেকে অনেক বড়ো—এতে তিনটি মুখ্যস্তর থাকে। তাই Cl পরমাণুতে ইলেকট্রন যুক্ত করার সময় ইলেকট্রনগুলির বিকর্ষণ বল অত কার্যকরী হয় না। তাই Cl^- আয়ন গঠনে বেশি শক্তি মুক্ত হয়, তাই Cl-এর ইলেকট্রন আসক্তি বেশি।

(7) মৌলের ইলেকট্রোনেগেটিভিটি বা ঋণতড়িৎধর্মিতা (Electronegativity) **:** কোনো স্থায়ী অণুর মধ্যে রাসায়নিক বন্ধন দ্বারা আবদ্ধ থাকা অবস্থায় কোনো মৌলের পরমাণুর, বন্ধন সৃষ্টিকারী ইলেকট্রন যুগলকে নিজের দিকে আকর্ষণ করার প্রবণতা বা ক্ষমতাকে মৌলটির **ইলেকট্রোনেগেটিভিটি বা ঋণতড়িৎধর্মিতা** বলে।

পর্যায় সারণিতে মৌলের ইলেকট্রোনেগেটিভিটির পর্যায় ক্রমিক আবর্তন :

কোনো পর্যায়ের বামদিক থেকে যত ডানদিকে এগোনো হয় s এবং p ব্লকের মৌলগুলির ইলেকট্রোনেগেটিভিটির মান ততই বৃদ্ধি পেতে থাকে অর্থাৎ মৌলের পরমাণু-ক্রমাঙ্ক বৃদ্ধির সাথে সাথে মৌলের ইলেকট্রোনেগেটিভিটির মান Gr IA (1), IIA (2) থেকে IIIA (13)—VIIA (17) শ্রেণি পর্যন্ত ক্রমান্বয়ে বৃদ্ধি পেতে থাকে।

একই Group-এর অন্তর্ভুক্ত *s* এবং *p* ব্লকের মৌলগুলির ক্ষেত্রে দেখা যায় উপর থেকে যত নীচের দিকে যাওয়া যায় মৌলগুলির ইলেকট্রোনেগেটিভিটির মান ততই কমতে থাকে।

(8) ধাতব এবং অধাতব ধর্ম (Metallic and non-metallic property) ঃ **কোনো মৌলের ইলেকট্রন বর্জন করে ক্যাটায়নে পরিণত হওয়ার প্রবণতাকে ওই মৌলের ধাতব বা ইলেকট্রোপজিটিভ ধর্ম বলে।** যে মৌলের পরমাণুর ইলেকট্রন বর্জন করার প্রবণতা যত বেশি তার ধাতব ধর্ম তত বেশি হয়। ছোটো আকারের পরমাণুর চেয়ে বড়ো আকারের পরমাণু সহজে ইলেকট্রন বর্জন করতে পারে। পর্যায়-সারণির যেকোনো পর্যায়ে বামদিকের মৌলগুলির পরমাণুর আকার বড়ো। যত ডানদিকে যাওয়া যায় পরমাণুর আকার তত কমতে থাকে। তাই পর্যায়-সারণিতে দেখা যায় ডানদিকের মৌলগুলির ইলেকট্রন গ্রহণ করার প্রবণতা বেশি, তাই ডানদিকের মৌলগুলি ইলেকট্রোনেগেটিভ অর্থাৎ ওদের অধাতব ধর্ম বেশি, ওরা অ্যানায়ন সৃষ্টি করে। আবার বামদিকের মৌলগুলির ইলেকট্রন ত্যাগ করার প্রবণতা বেশি, তাই বামদিকের মৌলগুলি ইলেকট্রোপজিটিভ অর্থাৎ ওরা ক্যাটায়ন সৃষ্টি করে এবং ওদের ধাতব ধর্ম বেশি।

(i) যে-কোনো পর্যায়ে প্রথম শ্রেণি থেকে আরম্ভ করে যত ডানদিকে এগিয়ে যাওয়া যায় মৌলের ধাতব ধর্ম তত কমতে থাকে এবং মৌলগুলির অধাতব ধর্ম বাড়তে থাকে—শেষে সপ্তম শ্রেণিতে অধাতব ধর্ম সর্বাধিক হয়। প্রথম শ্রেণি IA-এর Li, Na, K, Rb প্রভৃতি মৌলগুলি হল তীব্র ইলেকট্রোপজিটিভ অর্থাৎ তীব্র ধাতব গুণবিশিষ্ট মৌল। সপ্তম শ্রেণির VIIA(17) F, Cl, Br, I মৌলগুলি হল তীব্র ইলেকট্রোনেগেটিভ অর্থাৎ অধাতব গুণবিশিষ্ট মৌল।

পর্যায়-সারণিতে একই শ্রেণিতে যেসব মৌল আছে তাদের পারমাণবিক সংখ্যা বাড়ার সঙ্গে সঙ্গে ইলেকট্রোপজিটিভ, অর্থাৎ ধাতব ধর্ম বাড়তে থাকে। যেমন, শ্রেণি IA-এর মৌলগুলির ক্ষেত্রে দেখা যায় যে Li-এর চেয়ে Na এবং Na-এর চেয়ে K আরও বেশি **পজিটিভ-তড়িৎধর্মী**। শ্রেণি VII A-এর মৌলগুলিকে লক্ষ করলে দেখা যায়, যত নীচের দিকে যাওয়া যায় ধাতব গুণ ততই বাড়তে থাকে। **ব্রোমিনের চেয়ে আয়োডিনের ধাতব গুণ বেশি।**

(ii) অক্সাইডের প্রকৃতি ঃ ইলেকট্রো-পজিটিভ বা তড়িৎ-ধনাত্মক মৌলের অক্সাইড সাধারণত ক্ষারীয় হয় এবং ইলেকট্রো-নেগেটিভ বা তড়িৎ-ঋণাত্মক মৌলের অক্সাইড সাধারণত আম্লিক হয়। মৌলগুলির অক্সাইডের প্রকৃতি তাদের তড়িৎ-রাসায়নিক ধর্মের উপর নির্ভরশীল।

শ্রেণি→	IA	IIA	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA
অক্সাইড	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	SO_3	Cl_2O_7
প্রকৃতি	তীব্র ক্ষারীয়	ক্ষারীয়	উভধর্মী	মৃদু আম্লিক	আম্লিক	তীব্র আম্লিক	তীব্র আম্লিক

উপরের তালিকা থেকে দেখা যায়, **মৌলের অক্সাইডগুলির ক্ষারীয় ধর্ম, শ্রেণির সংখ্যা বাড়ার সঙ্গে সঙ্গে কমতে থাকে, আর আম্লিক ধর্ম, শ্রেণির সংখ্যা বাড়ার সঙ্গে সঙ্গে বাড়তে থাকে।** যেমন, IA অর্থাৎ 1 শ্রেণির Na_2O তীব্র ক্ষারীয়, III A অর্থাৎ 13 শ্রেণির Al_2O_3 উভধর্মী এবং VII A বা 17 শ্রেণির Cl_2O_7 তীব্র আম্লিক। আবার একই শ্রেণির মৌলগুলির অক্সাইডের ক্ষারীয় ধর্ম কোনো শ্রেণির যত নীচের দিকে যাওয়া যায় ততই বাড়তে থাকে। IIA বা 2 গ্রুপের মৌলগুলির অক্সাইডের ক্ষারীয় ধর্ম বৃদ্ধি অনুযায়ী সাজালে নীচের ক্রমটি পাওয়া যায়—BeO < MgO < CaO < SrO < BaO.

(iii) হাইড্রাইড যৌগের প্রকৃতি—সব প্রধান গ্রুপের মৌল (নোবল গ্যাস, ইন্ডিয়াম ও থ্যালিয়াম ছাড়া) হাইড্রাইড উৎপন্ন করে। ল্যান্থানাইড এবং অ্যাক্টিনাইড ধাতুগুলিও হাইড্রাইড যৌগ দেয়। সন্ধিগত ধাতুগুলির মধ্যে Sc, Y, La, Ac, Te, Hf হাইড্রাইড উৎপন্ন করে।

(a) আয়নীয় হাইড্রাইড ঃ পর্যায়-সারণির বামদিকের অর্থাৎ *s*-ব্লক মৌলের হাইড্রাইডগুলি হল এই জাতীয়। এগুলির সবই হল আয়নীয় যৌগ এবং গলনাঙ্ক উচ্চ। গলিত অবস্থায় এরা আয়নিত হয়ে **H^- অ্যানায়ন** দেয় এবং তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করলে অ্যানোডে H_2 গ্যাস উৎপন্ন করে। এই জাতীয় হাইড্রাইডগুলির জলীয় দ্রবণে ক্ষার ধর্ম প্রকাশ পায়।

$NaH \rightleftharpoons Na^+ + H^-$ অ্যানোডে ঃ $2H^- - 2e \rightarrow H_2\uparrow$. জলের সঙ্গে এই হাইড্রাইডগুলি বিস্ফোরণসহ যুক্ত হয়ে তীব্র ক্ষার এবং H_2 উৎপন্ন করে। $NaH + H_2O = NaOH + H_2$.

(b) ধাতব হাইড্রাইড ঃ *d* ব্লক ধাতুগুলির মধ্যে IIIB (3), IVB (4), VB (5) ধাতুগুলি এবং VIB (6) এর মধ্যে একমাত্র Cr ছাড়া সবই ধাতব হাইড্রাইড উৎপন্ন করে। এরা সবাই তড়িৎপরিবাহী। এই জাতীয় হাইড্রাইডগুলির উপাদানের **যৌগিক অনুপাত স্থির নয়।**

(c) সমযোজী হাইড্রাইড ঃ *p* ব্লকের মৌলগুলির হাইড্রাইড হল এই জাতীয়। এদের মধ্যে VIIA (17) গ্রুপের মৌলগুলির হাইড্রাইডের **জলীয় দ্রবণ তীব্র আম্লিক।** $HCl + H_2O \rightarrow H_3O^+ + Cl^-$। VA (15), VIA (16) গ্রুপের মৌলগুলির মধ্যে Gr VA-এর NH_3 ক্ষারীয়, VIA গ্রুপের হাইড্রাইড (H_2S) মৃদু আম্লিক। এদের গলনাঙ্ক ও স্ফুটনাঙ্ক কম।

একই পর্যায়ে—কোনো পর্যায়ে মৌলগুলির পারমাণবিক সংখ্যা বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে মৌলগুলির হাইড্রাইড গঠনের প্রবণতা এবং হাইড্রাইডগুলির স্থায়িত্ব বাড়ে। বামদিকের হাইড্রাইডগুলি হল আয়নীয় এবং ডানদিকের হাইড্রাইডগুলি হল সমযোজী।

একই শ্রেণিতে—পর্যায়-সারণির যেকোনো শ্রেণিতে উপর থেকে যত নীচের দিকে যাওয়া যায়, মৌলগুলির হাইড্রাইড গঠনের প্রবণতা কমে যায় এবং স্থায়িত্বও কমে যায়। যেমন, VIIA(17) শ্রেণির হ্যালোজেন হাইড্রাইডগুলির স্থায়িত্বের ক্রম হল—

$$HI < HBr < HCl < HF.$$

7.5. পর্যায়-সারণিতে হাইড্রোজেনের স্থান [Position of hydrogen in the periodic table]

হাইড্রোজেন একটি অদ্ভুত মৌল। দুই নৌকায় পা দেওয়ার মতো একদিকে IA শ্রেণির ক্ষার ধাতুগুলির (Li, Na, K ইত্যাদি) সঙ্গে আবার অন্যদিকে VIIA শ্রেণির হ্যালোজেন মৌলগুলির (F, Cl, Br, I) সঙ্গে হাইড্রোজেনের ধর্মের অনেক মিল দেখা যায়। তাই হাইড্রোজেনকে IA (1) শ্রেণি বা VIIA (17) শ্রেণির যে কোনো একটিতে স্থান দেওয়া যায়। এইজন্যই মেন্ডেলিয়েভ হাইড্রোজেনকে **'দুষ্ট মৌল'** রূপে অ্যাখ্যা দিয়েছিলেন।

(a) হাইড্রোজেনকে IA শ্রেণিতে স্থান দেওয়ার সপক্ষে যুক্তি ঃ

(1) ক্ষার ধাতুগুলির মতো হাইড্রোজেনেরও সবচেয়ে **বাইরের কক্ষে 1টি করে *s* ইলেকট্রন থাকে—ns^1,** হাইড্রোজেনের ক্ষেত্রে $n = 1$, Li-এর $n = 2$, Na-এর $n = 3$ ইত্যাদি। তাই প্রত্যেক ক্ষার-ধাতুর মতো হাইড্রোজেনের যোজ্যতা = 1.

(2) ক্ষার-ধাতুগুলি তীব্র ইলেকট্রোপজিটিভ মৌল, এদের ইলেকট্রন ত্যাগের প্রবণতা বেশি, হাইড্রোজেনও ইলেকট্রোপজিটিভ মৌল। ক্ষার-ধাতু ইলেকট্রন বর্জন করে ক্যাটায়নে পরিণত হয়। $Na - e \rightarrow Na^+$, H পরমাণুও ইলেকট্রন ত্যাগ করে H^+ ক্যাটায়ন উৎপন্ন করে—$H - e \rightarrow H^+$।

(3) ক্ষার-ধাতুগুলির হ্যালাইড জলে দ্রবীভূত হলে ধাতুগুলি ক্যাটায়ন উৎপন্ন করে। অনুরূপে হ্যালোজেনের সঙ্গে যুক্ত হয়ে হাইড্রোজেন যে হ্যালাইডগুলি উৎপন্ন করে সেগুলি জলে দ্রবীভূত হলে H^+ আয়ন উৎপন্ন করে। গলিত NaCl-কে তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করলে ক্যাথোডে Na মুক্ত হয়, অনুরূপে HCl-এর জলীয় দ্রবণের তড়িদ্‌বিশ্লেষণে H^+ আয়ন ক্যাথোডে ইলেকট্রন গ্রহণ করে H_2 রূপে মুক্ত হয়।

$NaCl \rightleftharpoons Na^+ + Cl^-$ | $HCl \rightleftharpoons H^+ + Cl^-$

ক্যাথোডে ঃ $Na^+ + e \rightarrow Na$ | ক্যাথোডে ঃ $H^+ + e \rightarrow H$

(4) হাইড্রোজেন এবং ক্ষার-ধাতুগুলি সহজে ইলেকট্রন বর্জন করে নিজেরা জারিত হয় কিন্তু অপরকে বিজারিত করে—তাই হাইড্রোজেন এবং ক্ষার-ধাতুগুলি বিজারক দ্রব্য।

(5) ক্ষার-ধাতুর অক্সাইডগুলি খুব সুস্থিত যৌগ, অনুরূপে হাইড্রোজেনের অক্সাইড H_2O খুব সুস্থিত।

(6) সংকর গঠন করা হল একটি ধাতব ধর্ম। প্যালাডিয়ামের সঙ্গে H এই রকম সংকর (অন্তর্ধৃতি) উৎপন্ন করে, সুতরাং হাইড্রোজেনের এই ধর্মটি ধাতুর মতো। ক্ষার-ধাতু এবং হাইড্রোজেনের মধ্যে এই সাদৃশ্যগুলি থাকায়, H-কে ক্ষার ধাতুগুলির সঙ্গে স্থান দেওয়া অযৌক্তিক নয়।

(b) হাইড্রোজেনকে VIIA শ্রেণিতে স্থান দেওয়ার পক্ষে যুক্তি ঃ

এখন IA শ্রেণিতে হাইড্রোজেনকে বসালে (যেহেতু পারমাণবিক সংখ্যা = 1) এর পরের মৌল হিলিয়াম (He) নিষ্ক্রিয় গ্যাস বলে 0 শ্রেণিতে স্থান পেয়েছে। এর ফলে H এবং He-এর মাঝে কতকগুলি স্থান ফাঁকা থেকে যায়।

(1) হ্যালোজেনগুলি প্রত্যেকেই অধাতু, হাইড্রোজেনও অধাতু। গ্যাসীয় অবস্থায় হ্যালোজেনগুলি দ্বিপরমাণুক, হাইড্রোজেনও দ্বিপরমাণুক গ্যাস। এই হিসাবে I শ্রেণির কঠিন এবং তীব্র ধাতব গুণবিশিষ্ট ক্ষার-ধাতুগুলির সঙ্গে না রেখে VIIA শ্রেণিতে অধাতু হ্যালোজেন মৌলগুলির সঙ্গে হাইড্রোজেনকে স্থান দেওয়া আরও সংগত বলে মনে হয়।

(2) হ্যালোজেন মৌলগুলি তীব্র ইলেকট্রোনেগেটিভ, এদের প্রত্যেকেরই ইলেকট্রন গ্রহণ করার প্রবণতা আছে। মৌলগুলির পরমাণু ইলেকট্রন গ্রহণ করে অ্যানায়নে পরিণত হয়। তীব্র ক্ষারধর্মী ধাতুর (Li, Na, K ইত্যাদি) সঙ্গে হাইড্রোজেনের বিক্রিয়ার

সময় H পরমাণু ক্ষার-ধাতুর পরমাণু থেকে ইলেকট্রন গ্রহণ করে H^- অ্যানায়নে পরিণত হয়। তাই ক্ষার-ধাতু বা ক্ষারীয় মৃত্তিকা ধাতুর হাইড্রাইডগুলির তড়িদ্‌বিশ্লেষণে হ্যালোজেন মৌলগুলির মতো হাইড্রোজেনও অ্যানোডে মুক্ত হয়।

$NaH \rightleftharpoons Na^+ + H^-$ $\qquad$ $NaCl \rightleftharpoons Na^+ + Cl^-$

অ্যানোডে ঃ $H^- - e \rightarrow H$ $\qquad$ অ্যানোডে ঃ $Cl^- - e \rightarrow Cl$

(3) কতকগুলি অধাতুর সঙ্গে যুক্ত হওয়ার সময় হ্যালোজেন মৌলগুলি সমযোজ্যতা দ্বারা যুক্ত হয়ে সমযোজী যৌগ উৎপন্ন করে। অনুরূপভাবে অধাতুর সঙ্গে H_2 সমযোজ্যতা দ্বারা যুক্ত হয়ে সমযোজী যৌগ উৎপন্ন করে। যেমন,

CH_4 —CCl_4 $\qquad$ NH_3 —NCl_3

(4) কার্বনের সঙ্গে হাইড্রোজেন যুক্ত হয়ে সম্পৃক্ত হাইড্রোকার্বন উৎপন্ন করে—এই সম্পৃক্ত হাইড্রোকার্বনের সঙ্গে হ্যালোজেনের (Cl, Br) প্রতিস্থাপন বিক্রিয়া ঘটে এক একটি H পরমাণু হ্যালোজেন পরমাণু দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে কার্বনের বিভিন্ন হ্যালাইড উৎপন্ন করে।

$$CH_4 \xrightarrow{Cl_2} CH_3Cl \xrightarrow{Cl_2} CH_2Cl_2 \xrightarrow{Cl_2} CHCl_3 \text{ ইত্যাদি।}$$

(5) হাইড্রোজেনকে VII A শ্রেণিতে স্থান দিলে, হাইড্রোজেন ও পরের মৌল He-এর মাঝে কোনো স্থান ফাঁকা থাকে না।

(6) H-এর আয়নীভবন বিভব (Ionisation potential) = 13·58 eV, তেমনি হ্যালোজেন মৌলগুলির আয়নীভবন বিভবও উচ্চ যেমন F = 17·42 eV, Cl = 13·0 eV, Br = 11·8 eV, I = 10·4 eV, অপরপক্ষে ক্ষারীয় ধাতুগুলির আয়নীয় বিভব অপেক্ষাকৃত অনেক কম।

Li = 5·39 eV $\qquad$ Na = 5·14 eV $\qquad$ K = 4·43 eV

Rb = 4·18 eV $\qquad$ Cs = 3·89 eV $\qquad$ [1 eV = 23·06 k cal/mole]

সুতরাং দেখা গেল হাইড্রোজেনকে সঠিকভাবে IA বা সঠিকভাবে VIIA শ্রেণিতে বসানো যায় না। এর জন্য দায়ী হাইড্রোজেনের দ্বৈত ব্যবহার।

এই অসুবিধার জন্য অনেক বিজ্ঞানী হাইড্রোজেনকে IA বা VII A শ্রেণিতে স্থান না দিয়ে পর্যায়-সারণির উপরে IA এবং VIIA শ্রেণির মাঝামাঝি অঞ্চলের একটি বিশেষ জায়গায় হাইড্রোজেনকে স্থান দেওয়ার পক্ষপাতী।

7.6. পর্যায়-সারণিতে নিষ্ক্রিয় বা নোবল গ্যাসগুলির স্থান [Position of Inert or noble gases in periodic table]

মেন্ডেলিয়েভের পর্যায়-সারণিতে নিষ্ক্রিয় গ্যাসগুলির জন্য কোনো স্থান ছিল না—কারণ তার সময় নিষ্ক্রিয় গ্যাসগুলি আবিষ্কৃত হয়নি। আধুনিক পর্যায় সারণিতে 6টি নিষ্ক্রিয় গ্যাস যথা **হিলিয়াম, নিয়ন, আর্গন, ক্রিপটন, জেনন** এবং **রেডন**—এই 6টি গ্যাসকে 0 বা 18 গ্রুপে স্থান দেওয়া হয়েছে। একমাত্র হিলিয়াম (He) ছাড়া অন্য সবগুলি নিষ্ক্রিয় গ্যাসের পরমাণুর সবচেয়ে বাইরের কক্ষটি আটটি ইলেকট্রন দ্বারা পূর্ণ থাকে। এদের সবচেয়ে বাইরের কক্ষের ইলেকট্রন বিন্যাস হল $ns^2\ np^6$ হিলিয়ামেরও সর্ববহিস্থ কক্ষের s উপকক্ষটি 2টি ইলেকট্রন ($2s^2$) দ্বারা পূর্ণ থাকে। এই মৌলগুলির পরমাণুর সব শক্তিস্তরগুলি ইলেকট্রন দ্বারা পূর্ণ থাকে যার জন্য প্রত্যেকটি নিষ্ক্রিয় গ্যাসগুলির পরমাণু সুস্থিত ইলেকট্রন বিন্যাস লাভ করে। এই মৌলগুলির পরমাণুতে বাইরে থেকে ইলেকট্রন যোগ করে বা বাইরের কক্ষের ইলেকট্রন অপসারিত করে ওই সুস্থিত ইলেকট্রন বিন্যাসের পরিবর্তন সহজে করা যায় না। এর ফলে মৌলগুলি খুব স্থায়ী এবং সহজে অপর কোনো মৌলের সাথে বিক্রিয়া করে না। পর্যায়-সারণির প্রতিটি পর্যায় শেষ হয় এই নোবল গ্যাস দিয়ে। পর্যায়-সারণিতে নিষ্ক্রিয় গ্যাসগুলির শূন্য বা 18 গ্রুপটি, একদিকে তীব্র তড়িৎঋণাত্মক মৌলের গ্রুপ VII A বা 17 এবং পরের পর্যায়ে তীব্র তড়িৎধনাত্মক মৌলের গ্রুপ IA এর মাঝে অবস্থান করে ওই দুই গ্রুপের মধ্যে সেতুর মতো কাজ করে এবং মৌলগুলির ইলেকট্রোনেগেটিভিটির পরিবর্তনের ধারাবাহিকতা বজায় রাখে। এর ফলে তীব্র ইলেকট্রোনেগেটিভ মৌল শ্রেণির গ্রুপ VII A-এর পরই তীব্র ইলেকট্রোপজিটিভ ক্ষার ধাতুর গ্রুপ I A আরম্ভ হওয়ার মধ্যে যে অসঙ্গতি ছিল, মাঝে 0 বা 18 গ্রুপটি আসায় তার অবসান হয়েছে। এই কারণে পর্যায়-সারণিতে শূন্য গ্রুপটি রাখা যুক্তি সংগত হয়েছে।

7.7. পর্যায়-সারণির কৌণিক সম্পর্ক [Diagonal relationship of periodic table]

(i) পর্যায়-সারণিতে কোনাকুনি অবস্থান করে এইরকম কয়েকটি মৌলের ধর্মের সাদৃশ্য লক্ষ করা যায়। 2 এবং 3 পর্যায়ের কোনো শ্রেণির একটি মৌলের সঙ্গে ওর পরের পর্যায়ের ঠিক পরের শ্রেণিতে অবস্থিত আছে, এমন মৌলের রাসায়নিক ধর্মে

অনেক সাদৃশ্য দেখা যায়। পর্যায়-সারণিতে কোনাকুনি অবস্থানে থাকা কয়েকটি মৌলের ধর্মের এইরকম সাদৃশ্য থাকার ঘটনাকে **কৌণিক সম্পর্ক** (Diagonal relationship) বলে।

(ii) হালকা ধাতুগুলির ক্ষেত্রে এই সম্পর্ক বেশি দেখা যায়। যেমন **দ্বিতীয় পর্যায়ের IA গ্রুপের Li-এর সঙ্গে তৃতীয় পর্যায়ের IIA গ্রুপের Mg-এর** এবং **দ্বিতীয় পর্যায়ের Be-এর** ধর্মের সঙ্গে **তৃতীয় পর্যায়ে Al-এর ধর্মে** এবং **B-এর সঙ্গে Si-এর ধর্মে** অনেক সাদৃশ্য দেখা যায়। দ্বিতীয় পর্যায়ের 16 শ্রেণির অক্সিজেনের সঙ্গে তৃতীয় পর্যায়ের 17 শ্রেণির **ক্লোরিনের ধর্মে** অনেক সাদৃশ্য লক্ষ করার মতো। তবে সংশ্লিষ্ট মৌলগুলি যে যে গ্রুপে থাকে সেই সেই গ্রুপের মৌলগুলির সঙ্গে এই মৌলগুলির ধর্মের যতটা মিল দেখা যায়, কোনাকুনি অবস্থানে থাকা মৌলগুলির মধ্যে ততটা মিল দেখা যায় না। মৌলের এইরকম কৌণিক সম্পর্ক প্রথম এবং দ্বিতীয় পর্যায়ের মৌলগুলির মধ্যেই সীমাবন্ধ থাকে—অন্য পর্যায়ের মৌলের মধ্যে দেখা যায় না।

পর্যায় ↓	IA	IIA	IIIA	IVA
2	Li ↘	Be ↘	B ↘	C
3	Na	Mg	Al	Si

কোনাকুনি বা ডাইগোনাল সম্পর্কের কারণ—(i) একই ইলেকট্রোপজিটিভ চরিত্রের জন্য—আমরা জানি একই পর্যায়ের মৌলগুলির বামদিক থেকে ডানদিকে গেলে মৌলগুলির ইলেকট্রো-নেগেটিভিটি ক্রমে বাড়তে থাকে, কিন্তু কোনো গ্রুপের উপর থেকে নীচের দিকে গেলে মৌলগুলির ইলেকট্রোনেগেটিভিটি কমতে থাকে। সুতরাং পর্যায়-সারণির কোনাকুনি গেলে, এই দুই বিপরীত প্রবণতা পরস্পরকে প্রশমিত করে দেয়, যার ফলে কোনাকুনি অবস্থিত মৌলগুলির ইলেকট্রো নেগেটিভিটি প্রায় সমান হয়ে যায় এবং মৌলগুলি প্রায় সমান ইলেকট্রোপজিটিভ ধর্মবিশিষ্ট হয়, যার ফলে সংশ্লিষ্ট মৌলগুলির মধ্যে ধর্মের মিল দেখা যায়।

(ii) পারমাণবিক অথবা আয়নীয় ব্যাসার্ধ একরকম হওয়ার জন্যও মৌলগুলির মধ্যে এইরূপ ধর্ম দেখা যায়। আমরা জানি কোনো পর্যায়ের বামদিক থেকে ডানদিকে গেলে পারমাণবিক ব্যাসার্ধ ক্রমে কমতে থাকে কিন্তু একই শ্রেণির নীচের দিকে গেলে পারমাণবিক ব্যাসার্ধ বাড়তে থাকে। সুতরাং পর্যায়-সারণির কোনাকুনি এগোলে, এই দুই বিপরীতমুখী প্রবণতা পরস্পরকে অংশত প্রশমিত করে দেয়, ফলে কোনাকুনি অবস্থানে থাকা এই মৌলগুলির পারমাণবিক এবং আয়নীয় ব্যাসার্ধ প্রায় সমান হয়ে যায়, ফলে রাসায়নিক ধর্ম প্রায় একরকম হয়।

● **আধুনিক পর্যায়-সারণির সুবিধাগুলি হল—**

(i) আধুনিক পর্যায়-সারণিতে একটি মৌলের অবস্থানের সঙ্গে মৌলটির ইলেকট্রন-বিন্যাসের সম্পর্কটি পরিষ্কার বোঝা যায়।

(ii) আধুনিক পর্যায়-সারণিকে মনে রাখা সহজ, কারণ পর্যায়-সারণিটি বিভিন্ন মৌলের পর্যায়ক্রমে পারমাণবিক সংখ্যা বৃদ্ধির ক্রম অনুযায়ী পর পর সাজানো হয়েছে।

(iii) একই গ্রুপে অবস্থিত মৌলগুলিকে একই গ্রুপে রাখার এবং ওদের ধর্মের প্রচুর মিল থাকার একটা যুক্তি সংগত কারণ হল, মৌলগুলির সবচেয়ে বাইরের কক্ষের ইলেকট্রন-বিন্যাস একরকম হয়। সুতরাং পর্যায়-সারণিতে মৌলগুলিকে বিভিন্ন গ্রুপে রাখার একটা যুক্তি সংগত কারণ আছে।

(iv) এই পর্যায়-সারণিতে বিভিন্ন মৌলগুলিকে ওদের নিজ নিজ ইলেকট্রন-বিন্যাস অনুসারে শ্রেণিবন্ধ করা হয়েছে। যেমন, (*a*) **স্বাভাবিক মৌলগুলিকে** 1, 2, (13—17) গ্রুপের মধ্যে রাখা হয়েছে, (*b*) **সন্ধিগত মৌলগুলিকে** (3—12) গ্রুপের মধ্যে রাখা হয়েছে, এই পর্যায়-সারণিতে মৌলগুলিকে, **সক্রিয় ধাতু রূপে** 1 এবং 2 গ্রুপে, **ভারী ধাতুগুলিকে** (3—12) গ্রুপের মধ্যে এবং (*c*) অধাতুগুলিকে ডানদিকে উপরের দিকের কোণে রাখা হয়েছে (13—18) গ্রুপ।

(v) ইলেকট্রনীয়-বিন্যাসের উপর ভিত্তি করে, বিভিন্ন মৌলগুলিকে *s, p, d, f* প্রভৃতি বিভিন্ন ব্লকে শ্রেণিবন্ধ করা হয়েছে। মৌলগুলিকে এইভাবে শ্রেণিবন্ধ করার ফলে বিভিন্ন মৌলগুলির ইলেকট্রন-বিন্যাস, ওদের ধর্ম এবং এক মৌলের ধর্মের সঙ্গে অপর মৌলের ধর্মের মিল বা অমিল সম্বন্ধে জানার সহজ পদ্ধতি জানা গেল। এর ফলে ওইভাবে শ্রেণিবন্ধ মৌলগুলির ধর্মগুলি বোঝা এবং মনে রাখা সহজ হয়ে গেছে।

(vi) গ্রুপ VIII এর ত্রয়ী সন্ধিগত মৌলগুলিকে যথাযথ এবং সঠিকভাবে শ্রেণিবন্ধ করে 8, 9, 10 গ্রুপের মধ্যে স্থান দেওয়া হয়েছে।

যেহেতু আধুনিক দীর্ঘ পর্যায়-সারণিতে **বিভিন্ন মৌলগুলির স্থান, ওদের পরমাণুর ইলেকট্রন-বিন্যাসের সঙ্গে সম্পর্কযুক্ত।** সুতরাং মৌলগুলির এই পর্যায়-সারণিটি হল বিভিন্ন মৌলগুলির একটি আদর্শ শ্রেণি বিন্যাস।

● **কোনো মৌলের ইলেকট্রন বিন্যাস থেকে, মৌলটি পর্যায় সারণির কোন্ পর্যায়ে, কত নম্বর গ্রুপে এবং কোন্ ব্লকে অবস্থান করে তা নির্ণয় করার পদ্ধতি ঃ**

(i) ইলেকট্রন বিন্যাসে, যোজন কক্ষ অর্থাৎ সবচেয়ে বাইরের মুখ্যশক্তি স্তরের সংখ্যাই (n) হল সংশ্লিষ্ট মৌলটি যে পর্যায়ে অবস্থান করে তার সংখ্যা।

(ii) মৌলটির পরমাণুতে যে জাতীয় অর্বিট্যালে শেষ ইলেকট্রনটি প্রবেশ করে পর্যায়-সারণিতে মৌলটির অবস্থান সেই ব্লকে।

(iii) (a) s-ব্লক মৌলগুলির ক্ষেত্রে—সবচেয়ে বাইরের কক্ষে উপস্থিত ইলেকট্রনের মোট সংখ্যাই হল, পর্যায়-সারণিতে মৌলটির গ্রুপ সংখ্যা।

(b) p-ব্লক মৌলগুলির ক্ষেত্রে—মৌলটির গ্রুপ সংখ্যা হল 10 + যোজন কক্ষে উপস্থিত ইলেকট্রনের সংখ্যা।

(c) d-ব্লক মৌলের ক্ষেত্রে—মৌলটির গ্রুপ সংখ্যা = $(n-1)$ d উপকক্ষে উপস্থিত ইলেকট্রন সংখ্যা + যোজন কক্ষে (nth কক্ষে) উপস্থিত ইলেকট্রন সংখ্যা।

উদাহরণ (i) ঃ A-মৌলের পাঃ সংখ্যা = 19, ইলেকট্রন বিন্যাস $1s^2\,2s^2\,2p^6\,3s^2\,3p^6\,4s^1$. সবচেয়ে বাইরের কক্ষের সংখ্যা $n = 4$. সুতরাং মৌলটি **4 পর্যায়ে** আছে। শেষ ইলেকট্রনটি যায় s উপকক্ষে, সুতরাং মৌলটি **s-ব্লক মৌল**। মৌলটির গ্রুপ সংখ্যা হল সবচেয়ে বাইরের কক্ষে উপস্থিত e সংখ্যা = 1 অর্থাৎ I বা 1 নং গ্রুপে আছে।

(ii) B মৌলের পরমাণুক্রমাঙ্ক 29, ইলেকট্রন বিন্যাস $1s^2\,2s^2\,2p^6\,3s^2\,3p^6\,3d^{10}\,4s^1$. সবচেয়ে বাইরের মুখ্য কক্ষ সংখ্যা = 4 সুতরাং মৌলটি **4 পর্যায়ে** আছে। যেহেতু শেষ ইলেকট্রনটি $3d$ উপকক্ষে যায়, তাই মৌলটি হল **d-ব্লক মৌল**। যেহেতু মৌলটি d-ব্লক মৌল সুতরাং এর গ্রুপ সংখ্যা = $3d$ উপকক্ষে উপস্থিত ইলেকট্রন সংখ্যা + যোজন কক্ষে উপস্থিত e সংখ্যা = 10 + 1 = **11 নং গ্রুপ**।

(iii) $_{28}$Ni-এর e বিন্যাস হল $1s^2\,2s^2\,2p^6\,3s^2\,3p^6\,3d^8\,4s^2$. শেষ কক্ষ-সংখ্যা = 4 সুতরাং Ni পর্যায় সারণির চতুর্থ পর্যায় স্থান নেয়। শেষ দুটি উপকক্ষের e সংখ্যা = 8 + 2 = 10, অর্থাৎ Ni-এর স্থান হবে 10 গ্রুপে।

(iv) $_{31}$Ga-এর e বিন্যাস হল $1s^2\,2s^2\,2p^6\,3s^2\,3p^6\,3d^{10}\,4s^2\,4p^1$. এর শেষ কক্ষ-সংখ্যা $n = 4$, তাই Ga-এর স্থান 4 পর্যায়। শেষ দুটি উপকক্ষের e সংখ্যা = 2 + 1 = 3, সুতরাং মৌলটির স্থান অর্থাৎ (10 + 3) = 13 গ্রুপে। মৌলটি p ব্লকের।

(v) একটি মৌলের পরমাণু-ক্রমাঙ্ক 35, এর ইলেকট্রন-বিন্যাস এবং পর্যায় সারণিতে অবস্থান লেখো। এর স্থায়ী জারণ অবস্থাগুলি লেখো।

Ans. মৌলটির e বিন্যাস $1s^2\,2s^2\,2p^6\,3s^2\,3p^6\,3d^{10}\,4s^2\,4p^5$. সর্বশেষ কক্ষ সংখ্যা = 4, ইলেকট্রন সংখ্যা = 7 এবং d ইলেকট্রন আছে। সুতরাং মৌলটি পর্যায়-সারণিতে চতুর্থ পর্যায়ের VIIB অর্থাৎ 17 গ্রুপে যাবে। মৌলটি p ব্লকের অন্তর্ভুক্ত। এর স্থায়ী জারণ অবস্থা হল −1, +1, +3, +5.

● সমাধানসহ পর্যায় সারণি সংক্রান্ত কয়েকটি সমস্যা ●

(1) একটি মৌলিকপদার্থের পরমাণুর ইলেকট্রন-বিন্যাস $1s^2\,2s^2\,2p^6\,3s^2\,3p^6\,3d^{10}\,4s^2$ হলে, পর্যায় সারণিতে মৌলটির স্থান কোথায় হবে? মৌলটি ধাতু না অধাতু? মৌলটির পারমাণবিক সংখ্যা ও যোজ্যতা কত? **[*H. S. '96*]**

Ans. (i) মৌলটির পরমাণুর সবচেয়ে বাইরের মুখ্যস্তর সংখ্যা $n = 4$. সুতরাং মৌলটি পর্যায়-সারণিতে চতুর্থ পর্যায়ে অবস্থান করবে।

(ii) এখন মৌলটির $3d$ উপকক্ষে 10টি ইলেকট্রন সম্পৃক্ত এবং $4s$ উপকক্ষে 2টি ইলেকট্রন দ্বারা সম্পৃক্ত। সুতরাং মৌলটির সবচেয়ে বাইরের কক্ষে মোট ইলেকট্রন-সংখ্যা = 2
সুতরাং মৌলটি II শ্রেণিতে অবস্থান করবে।

(iii) যেহেতু মৌলটি II শ্রেণিতে আছে সুতরাং মৌলটি ধাতু, যোজ্যতা = 2. পরমাণু-ক্রমাঙ্ক = 30

(2) একটি মৌলের (A) পরমাণু-ক্রমাঙ্ক 35. (i) মৌলটির ইলেকট্রন-বিন্যাস লেখো। (ii) মৌলটি পর্যায়-সারণির কোন্ পর্যায় এবং কোন্ শ্রেণিতে অবস্থিত? (iii) মৌলটি ধাতু কী অধাতু? (iv) মৌলটির সম্ভাব্য স্থায়ী জারণ অবস্থাগুলি কী হবে?

Ans. (i) মৌলটির ইলেকট্রন-বিন্যাস—$1s^2\,2s^2\,2p^6\,3s^2\,3p^6\,3d^{10}\,4s^2\,4s^2\,4p^5$

(ii) দেখা গেল পরমাণুটির সর্ববহিঃস্থ কক্ষপথের মুখ্য কোয়ান্টাম সংখ্যা $n = 4$। অতএব মৌলটি পর্যায়-সারণির চতুর্থ পর্যায়ে অবস্থিত। পরমাণুটির সর্ববহিঃস্থ কক্ষে $2 + 5 = 7$টি ইলেকট্রন আছে। সুতরাং মৌলটি VII শ্রেণিতে অবস্থান করে। অর্থাৎ পর্যায় 4, শ্রেণি VII.

(iii) যেহেতু মৌলটি VII শ্রেণিতে অবস্থান করে সুতরাং মৌলটি p ব্লক মৌল এবং অধাতু।

(iv) মৌলটি VII শ্রেণিতে অবস্থান করে, সুতরাং মৌলটির স্থায়ী জারণ অবস্থা $(8 - 7) = 1$ এবং 7 হবে।

(3) A এবং B মৌল দুটির পরমাণু-ক্রমাঙ্ক যথাক্রমে 9 এবং 17। মৌল দুটির পরমাণুর বিভিন্ন কক্ষে ও উপকক্ষে ইলেকট্রন-বিন্যাস দেখাও। (i) কোন মৌলের পরমাণু ক্ষুদ্রাকার? (ii) কোনটির তড়িৎ-ঋণাত্মকতা কম? ইলেকট্রনীয় গঠনের আলোকে ব্যাখ্যা দাও কেন A মৌল B মৌলের চেয়ে তীব্র জারক।

Ans. $_9A$-এর ইলেকট্রন-বিন্যাস— $1s^2\ 2s^2\ 2p^5$

$_{17}B$-এর ইলেকট্রন-বিন্যাস— $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^5$

(i) দেখা যায়, A মৌলে দুটি মুখ্য শক্তিস্তর আছে $n = 1$ এবং $n = 2$ এবং B মৌলে তিনটি মুখ্য শক্তিস্তর $n = 1, n = 2, n = 3$ আছে। A মৌলের পরমাণুতে একটি মুখ্য শক্তিস্তর কম থাকায় A মৌলের পরমাণুর আয়তন B মৌলের পরমাণুর আয়তনের চেয়ে ছোটো।

(ii) A মৌলের পরমাণুর আকার B-এর চেয়ে বেশ ছোটো বলে, A মৌলের ইলেকট্রন আকর্ষণ করার ক্ষমতা B-এর চেয়ে A মৌলের ইলেকট্রন গ্রহণ করার প্রবণতা বেশি, তাই B এর চেয়ে A তীব্র জারক পদার্থ।

(4) তিনটি মৌলের পরমাণু-ক্রমাঙ্ক যথাক্রমে 11, 18 এবং 26, মৌলগুলির পরমাণুর ইলেকট্রন-বিন্যাস লেখো এবং মৌলগুলি কী জাতীয় মৌল বলো।

Ans. 11 পরমাণু-ক্রমাঙ্কবিশিষ্ট মৌলের ইলেকট্রন-বিন্যাস— $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^1$

18 পরমাণু-ক্রমাঙ্কবিশিষ্ট মৌলের ইলেকট্রন-বিন্যাস— $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^6\ 4s^2$

(i) 11 পরমাণু-ক্রমাঙ্কবিশিষ্ট মৌলটি পর্যায়-সারণির 3 পর্যায়ে এবং IA শ্রেণিতে আছে, সুতরাং মৌলটি ধাতু, s ব্লক মৌল, আদর্শ মৌল এবং অত্যন্ত সক্রিয় মৌল।

(ii) 18 পরমাণু-ক্রমাঙ্কবিশিষ্ট মৌলটি পর্যায়-সারণির 3 পর্যায়ে এবং 0 শ্রেণিতে অবস্থান করে যেহেতু এর শেষ কক্ষে 8টি ইলেকট্রন পূর্ণ আছে, তাই মৌলটি নিষ্ক্রিয় মৌল।

(iii) 26 পরমাণু-ক্রমাঙ্কবিশিষ্ট মৌলটি পর্যায়-সারণির 4 পর্যায়ে আছে। যেহেতু এর ভেতরের d উপকক্ষটি অপূর্ণ অবস্থায় আছে, সুতরাং মৌলটি সন্ধিগত মৌল।

(5) A, B এবং C—এই তিনটি মৌলের পরমাণু-ক্রমাঙ্ক যথাক্রমে 17, 18 এবং 20।

(i) A, B এবং C-এর ইলেকট্রন-বিন্যাস লেখো।

(ii) A, B এবং C-এর মধ্যে কোনটি ধাতু ও কোনটি অধাতু?

(iii) A ও C-এর সমন্বয়ে গঠিত যৌগটির সংকেত কী?

(iv) উপরিউক্ত যৌগটির কী ধরনের যোজ্যতা হতে পারে যুক্তিসহ বলো। **[H. S. '83, '01]**

Ans.(i) $_{17}A$-এর ইলেকট্রনীয়-বিন্যাস— $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^5$

$_{18}B$-এর ইলেকট্রনীয়-বিন্যাস— $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6$

$_{20}C$-এর ইলেকট্রনীয়-বিন্যাস— $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2$

(ii) A মৌলটি পর্যায়-সারণির 3 পর্যায় এবং VIIA শ্রেণিতে অবস্থান করে, সুতরাং A মৌলটি অধাতু।

B মৌলটি তৃতীয় পর্যায় 0 শ্রেণিতে অবস্থান করে, সুতরাং B মৌলটি নিষ্ক্রিয় গ্যাস এবং অধাতু।

C মৌলটি 4 পর্যায় IIA গ্রুপে বর্তমান, সুতরাং C মৌলটি ধাতু।

(iii) যেহেতু A মৌলটি VIIA গ্রুপে অবস্থান করে, সুতরাং A-এর যোজ্যতা $= 8 - 7 = 1$

C মৌলটি IIA গ্রুপে থাকে, সুতরাং C-এর যোজ্যতা $= 2$

$\therefore$ AC দ্বারা গঠিত মৌলের সংকেত CA_2

(iv) যেহেতু A পর্যায়-সারণির VIIA শ্রেণিতে আছে, সুতরাং A মৌল তীব্র ইলেকট্রো-নেগেটিভ মৌল। C মৌল IIA গ্রুপে আছে, তাই তীব্র ইলেকট্রো-পজিটিভ। সুতরাং A-এর দ্বারা গঠিত যৌগটি তড়িৎযোজ্যতা দ্বারা গঠিত হবে।

(6) A, B এবং C চিহ্নিত তিনটি মৌলের পরমাণু-ক্রমাঙ্ক যথাক্রমে Z—2, Z এবং Z + 1। এদের মধ্যে B একটি নিষ্ক্রিয় গ্যাস। (i) কোনটির তড়িৎ ঋণাত্মক ধর্ম সর্বাপেক্ষা অধিক? (ii) কোন্‌টির আয়োনাইজেশন বিভব সর্বাপেক্ষা অধিক? (iii) A এবং C দ্বারা গঠিত যৌগের সংকেত কী হবে? (iv) A এবং C দ্বারা গঠিত যৌগটিতে A এবং C-এর মধ্যে বন্ধনী কীরূপ হবে? **[H. S. '85]**

Ans. (i) তিনটি মৌলের মধ্যে *A* মৌলটি সবচেয়ে বেশি তড়িৎ-ঋণাত্মক। কারণ *B* নিষ্ক্রিয় গ্যাস সুতরাং পর্যায়-সারণিতে এর অবস্থান 0 গ্রুপে। এখন *A*-এর পরমাণু-ক্রমাঙ্ক (Z – 2), সুতরাং *A* মৌলটির পরমাণু-ক্রমাঙ্ক *B*-এর চেয়ে 2 কম। তাই *A*-এর অবস্থান পর্যায়-সারণিতে *B*-এর অবস্থানের 2 শ্রেণি আগে অর্থাৎ VIA গ্রুপে, *A*-এর সর্ব বাইরের কক্ষের ইলেকট্রন-বিন্যাস ns^2np^4 অর্থাৎ *p* ব্লক মৌল তাই তীব্র অধাতু এবং তীব্র তড়িৎ-ঋণাত্মক।

(ii) *B*-এর আয়োনাইজেশন বিভব সবচেয়ে বেশি কারণ নিষ্ক্রিয় গ্যাসের সর্বশেষ কক্ষটিতে 8টি ইলেকট্রন পূর্ণ থাকে, ফলে নিউক্লিয়াসের চার্জ সবচেয়ে বেশি হয়। সুতরাং বহিঃস্থ ইলেকট্রনগুলিকে বেশি শক্তি দ্বারা নিউক্লিয়াস আকর্ষণ করে—এই অবস্থায় বাইরের কক্ষের ইলেকট্রন বিচ্ছিন্ন করতে বেশি শক্তি দরকার হয়, তাই *B*-এর আয়োনাইজেশন বিভব সবচেয়ে বেশি।

(iii) *A*—VIA শ্রেণিতে অবস্থান করে, তাই এর যোজ্যতা (8 – 6) = 2।

C মৌলটির পরমাণু-ক্রমাঙ্ক *B* নিষ্ক্রিয় গ্যাসের চেয়ে 1 বেশি, তাই *C* মৌলটি পরের পর্যায়ে নিষ্ক্রিয় গ্যাসের পরের শ্রেণি অর্থাৎ IA শ্রেণিতে অবস্থান করে, সুতরাং এর যোজ্যতা = 1, তাই *AC* দ্বারা গঠিত যৌগের সংকেত C_2A।

(iv) *C* মৌলটি IA গ্রুপে থাকার জন্য তীব্র ইলেকট্রো-পজিটিভ ধাতু—এর ইলেকট্রন বর্জনের প্রবণতা অধিক। *A* গ্রুপ VIA-এ থাকার জন্য ইলেকট্রো-নেগেটিভ মৌল—এর ইলেকট্রন গ্রহণের প্রবণতা বেশি। সুতরাং *A* ও *C* দ্বারা গঠিত যৌগে তড়িৎ-যোজী বন্ধনের সৃষ্টি হবে।

(7) A, B এবং C—এই তিনটি মৌলের পরমাণু-ক্রমাঙ্ক যথাক্রমে Z + 2, Z এবং Z – 1, B মৌলটি 3 পর্যায় এবং 0 শ্রেণিতে অবস্থান করে ঃ (i) A ও C কোন পর্যায় এবং কোন শ্রেণিতে অবস্থান করে? (ii) মৌল তিনটির মধ্যে কোন্‌টি ধাতু, কোন্‌টি অধাতু এবং কোন্‌টি নিষ্ক্রিয় মৌল? (iii) তিনটির মধ্যে সর্বাপেক্ষা তীব্র জারক এবং তীব্র বিজারক কোন্‌টি? (iv) A, B এবং C-এর যোজ্যতা কত? (v) কোন্‌টি তীব্র ইলেকট্রো-নেগেটিভ? (vi) A এবং C দ্বারা গঠিত যৌগের সংকেত কী?

Ans. (i) *B*, 0 শ্রেণিতে অবস্থান করে, *A*-এর পরমাণু-ক্রমাঙ্ক *B*-এর চেয়ে 2 বেশি, সুতরাং *A*-এর চেয়ে 2 শ্রেণি এগিয়ে থাকবে। এখন *B* তৃতীয় পর্যায়ে আছে। সুতরাং *A* পরের পর্যায় অর্থাৎ চতুর্থ পর্যায় IIA শ্রেণিতে অবস্থান করবে। *B*-এর চেয়ে *C*-এর পরমাণু-ক্রমাঙ্ক এক কম সুতরাং *C* মৌলটি তৃতীয় পর্যায় VIIA গ্রুপে আছে।

(ii) যেহেতু *A* IIA শ্রেণিতে অবস্থান করে, সুতরাং *A* একটি ধাতু, *B* মৌলটি 0 শ্রেণিতে আছে তাই নিষ্ক্রিয় গ্যাস। যেহেতু *C* মৌল VIIA শ্রেণিতে আছে তাই *C* একটি তীব্র অধাতু।

(iii) *A*, *B* এবং *C*-এর মধ্যে VIIA শ্রেণির *C* মৌলটি তীব্র ইলেকট্রো-নেগেটিভ তাই ইলেকট্রন গ্রহণের প্রবণতা সবচেয়ে বেশি, তাই সর্বাপেক্ষা তীব্র জারক। IIA গ্রুপে অবস্থিত *A* ধাতু এবং ইলেকট্রন ত্যাগের প্রবণতা বেশি তাই বিজারক।

(iv) *A* মৌল IIA গ্রুপে আছে, তাই এর যোজ্যতা = 2, *B* মৌল 0 গ্রুপে আছে তাই যোজ্যতা = 0। *C* মৌল VIIA গ্রুপে আছে তাই যোজ্যতা (8 – 7) = 1 অথবা 7 হতে পারে।

(v) VIIA গ্রুপে অবস্থিত *C* তীব্র ইলেকট্রো-নেগেটিভ।

(vi) *A* এবং *C* দ্বারা গঠিত যৌগের সংকেত AC_2।

(8) পর্যায়-সারণিতে IA গ্রুপের মৌলগুলির ঘনত্ব (g/cm^3) নিম্নরূপ—

Li = 0·534, Na = 0·971, K = 0·862, Rb = 1·532, Cs = 1·900

ধাতুগুলির পারমাণবিক আয়তন নির্ণয় করো এবং পারমাণবিক আয়তন ও ঘনত্ব এই দুটির মধ্যে কোন্‌টি পর্যায় সূত্রের সঙ্গে অধিক সামঞ্জস্যসম্পন্ন তা দেখাও। **[H. S. '83]**

Ans. Li = 7, Na = 23, K = 39, Rb = 85·5, Cs = 133

$$\text{পারমাণবিক আয়তন} = \frac{\text{গ্রাম আণবিক ওজন}}{\text{ঘনত্ব}};\qquad \therefore \text{Li-এর পাঃ আয়তন} = \frac{7}{0{\cdot}534} = 13{\cdot}1$$

$$\therefore \text{Na-এর পাঃ আয়তন} = \frac{23}{0{\cdot}971} = 23{\cdot}7;\qquad \therefore \text{K-এর পাঃ আয়তন} = \frac{39}{0{\cdot}862} = 45{\cdot}2$$

$$\therefore \text{Rb-এর পাঃ আয়তন} = \frac{85{\cdot}5}{1{\cdot}532} = 55{\cdot}8;\qquad \therefore \text{Cs-এর পাঃ আয়তন} = \frac{133}{1{\cdot}9} = 70$$

বিভিন্ন মৌলগুলির পারমাণবিক আয়তন এবং ঘনত্ব একটি ছকে সাজালে—

শ্রেণি	পারমাণবিক আয়তন	ঘনত্ব
Li	13·1	0·534
Na	23·7	0·971
K	45·2	0·862
Rb	55·8	1·532
Ca	70	1·900

ছকে দেখা যায়, মৌলগুলির পরমাণু-ক্রমাঙ্ক বাড়ার সঙ্গে সঙ্গে ওদের পারমাণবিক আয়তন বাড়ে, কিন্তু ঘনত্বের ক্ষেত্রে এরূপ হয় না—কখনও বাড়ে আবার কখনও কমে; সুতরাং মৌলের পারমাণবিক আয়তন পর্যায় সূত্রের সঙ্গে অধিক সামঞ্জস্যসম্পন্ন।

(9) একটি মৌল A-এর ক্লোরাইড এবং অক্সাইডের সংকেত যথাক্রমে ACl_3 এবং A_2O_5 । মৌলটি পর্যায় সারণির কোন্ শ্রেণিতে অবস্থান করে? মৌলটি ধাতু না অধাতু?

Ans. অক্সিজেনকে প্রমাণ ধরলে *A* মৌলের যোজ্যতা = 5 এবং Ci-কে প্রমাণ ধরলে যোজ্যতা = 3। যেহেতু অক্সিজেন ধরলে *A* মৌলের যোজ্যতা = 5, সুতরাং *A* মৌলটি VA গ্রুপে আছে, তাই *A* মৌলটি অধাতু।

(10) পর্যায়-সারণির বামদিক থেকে ডানদিকে এবং উপর থেকে নীচের দিকে অগ্রসর হলে মৌলগুলির নিম্নলিখিত ধর্মগুলি কীভাবে পরিবর্তিত হল লেখো—

(a) পারমাণবিক আয়তন, (b) যোজ্যতা, (c) তড়িৎ ঋণাত্মকতা, (d) জারণ ও বিজারণ ধর্ম। **[*H. S. '88*]**

Ans. (a) পারমাণবিক আয়তন বামদিক থেকে ডানদিকে অগ্রসর হলে প্রথমে হ্রাস পায়, পরে বৃদ্ধি পায়। কোন শ্রেণির উপর থেকে নীচের দিকে নামলে পারমাণবিক আয়তন বৃদ্ধি পায়।

(b) অক্সিজেনকে প্রমাণ ধরলে বামদিক থেকে ডানদিকে এগোলে যোজ্যতার বৃদ্ধি হয় এবং যে-কোনো গ্রুপের উপর থেকে নীচে নামলে যোজ্যতার কোনো পরিবর্তন হয় না।

(c) যে-কোনো পর্যায়ের বামদিক থেকে ডান দিকে এগোলে মৌলের ইলেকট্রোনেগেটিভিটি বাড়ে। কোনো গ্রুপের উপর থেকে নীচের দিকে নামলে ইলেকট্রোনেগেটিভিটি কমে।

(d) কোনো পর্যায়ের বামদিক থেকে ডানদিকে এগোলে মৌলের জারণ ক্ষমতা এবং বিজারণ ক্ষমতা কমে। কিন্তু কোনো গ্রুপের উপর থেকে নীচের দিকে নামলে বিজারণ ক্ষমতা বাড়ে।

● অনুশীলনী ●

1. (a) আধুনিক পর্যায়সূত্র কী? পর্যায়-সারণিতে হাইড্রোজেনের অবস্থান আলোচনা করো। **[*H.S. '98, 2000*]**

2. আয়নীভবন বিভব বলতে কী বোঝ? B-এর চেয়ে Be-এর প্রথম আয়নীভবন বিভব বেশি কেন? একটি পর্যায়ের বাম দিক থেকে ডানদিকে এবং শ্রেণির উপর থেকে নীচে গেলে আয়নীভবন বিভবের কীরূপ পরিবর্তন হবে? ইলেকট্রন আসক্তি বলতে কী বোঝ? হ্যালোজেন মৌলগুলির ইলেকট্রন আসক্তি নেগেটিভ হয় কেন?

3. সারণির বামদিক থেকে ডানদিকে গেলে এবং কোনো শ্রেণির উপর থেকে নীচের দিকে গেলে নীচের ধর্মগুলি কীভাবে পরিবর্তিত হবে লেখো। **(i)** পরমাণুর আকার, **(ii)** ধাতব ধর্ম, **(iii)** যোজ্যতা, **(iv)** অক্সাইডের প্রকৃতি, **(v)** জারণ-বিজারণ ক্ষমতা, **(vi)** পারমাণবিক আয়তন, **(vii)** আয়নীভবন বিভব, **(viii)** ধাতব ধর্ম।

4. একটি মৌল *M* পর্যায়-সারণির তৃতীয় পর্যায় এবং সপ্তম (17) শ্রেণিতে স্থান পেয়েছে। মৌলটির **(i)** ইলেকট্রন বিন্যাস দেখাও। **(ii)** মৌলটির যোজ্যতা কত? **(iii)** মৌলটির ধাতব গুণ না অধাতব গুণ দেখা যাবে। **(iv)** মৌলটির হাইড্রাইড আম্লিক না ক্ষারীয় হবে? **(v)** Na-এর সঙ্গে যুক্ত হয়ে যৌগ গঠন করলে কী জাতীয় যৌগ উৎপন্ন করবে?

5. তৃতীয় পর্যায়ের মৌলগুলিকে পারমাণবিক ক্রমাঙ্ক বৃদ্ধি অনুসারে সাজাও। একটি পর্যায় বরাবর বামদিক থেকে ডানদিকে এবং একটি গ্রুপে উপর থেকে নীচে, উভয় ক্ষেত্রেই যেখানে পারমাণবিক ক্রমাঙ্ক বৃদ্ধি পায়, অপরাধর্মিতা যথাক্রমে বৃদ্ধি এবং হ্রাস পায় কেন?

6. পারমাণবিক আয়তন যে পর্যাবৃত্ত ধর্ম তা প্রথম কে দেখান? পারমাণবিক আয়তন লেখচিত্রে—**(i)** ক্ষার ধাতু ও **(ii)** অধাতুগুলির অবস্থান কোথায়?

7. কয়েকটি মৌলের বাইরের কক্ষের ইলেকট্রন বিন্যাস দেওয়া হল—(i) $3s^2$, (ii) $2s^22p^6$, (iii) $3s^23p^2$, (iv) $4s^23d^5$, (v) $3s^23p^5$,

(vi) $4s^1$ মৌলগুলির নাম লেখ। এদের মধ্যে কোন্‌টি (a) ক্ষার ধাতু, (b) ক্ষারীয় মৃত্তিকা ধাতু, (c) হ্যালোজেন, (d) নোবল গ্যাস, (e) Gr 15 এর অন্তর্ভুক্ত, (f) দ্বিতীয় পর্যায় অবস্থিত (g) সর্বনিম্ন রাসায়নিক সক্রিয়তা, (h) d ব্লক মৌল, (i) p ব্লক মৌল?

8. নীচে মৌলগুলির বাইরের কক্ষের ইলেকট্রন-বিন্যাস দেখানো হল—
$A = 3d^{10}4s^1$, $B = 3s^2 3p^5$, $C = 4s^2 4p^6$, $D = 3d^8 4s^2$.
মৌলগুলি পর্যায়-সারণিতে কোন্‌ পর্যায়, কোন্‌ শ্রেণিতে এবং কোন্‌ ব্লকে অবস্থান করে বল। প্রত্যেকের যোজ্যতা কত বল। **[*H.S. '99*]**

9. পরমাণু ক্রমাঙ্ক 11, 24 এবং 36 বিশিষ্ট মৌলগুলির ইলেকট্রন বিন্যাস লেখো এবং এই মৌলগুলির মধ্যে কোন্‌ মৌলটি রাসায়নিক ধর্মে নিষ্ক্রিয় হবে তা কারণ সহ দেখাও। নাম লেখো—**(i)** 1টি সন্ধিগত মৌল, **(ii)** 1টি ক্ষারীয় মৃত্তিকা ধাতু। **[*H.S. '93*]**

10. মোট কয়টি মৌলকে ল্যান্থানাইড বলে? এদের সাধারণ ইলেকট্রন বিন্যাস দেখাও। এদের রাসায়নিক বৈশিষ্ট্যগুলি বর্ণনা করো।

11. *A, B* এবং *C*—এই তিনটি মৌলের পরমাণু-ক্রমাঙ্ক যথাক্রমে 17, 18 এবং 20। **(i)** *A, B* এবং *C*-এর ইলেকট্রন-বিন্যাস লেখো। **(ii)** *A, B* এবং *C*-এর মধ্যে ধাতু ও অধাতুগুলি শনাক্ত করো। **(iii)** *A* ও *C*-এর সমন্বয়ে গঠিত যৌগটির সংকেত কী? **(iv)** উপরিউক্ত যৌগটির কী ধরনের যোজ্যতা হতে পারে যুক্তিসহ বলো।

12. ইলেকট্রন বিন্যাসের সাহায্যে ব্যাখ্যা করো—কেন সোডিয়াম মৌল (পরমাণু-ক্রমাঙ্ক 11) ও পটাশিয়াম মৌলের (পরমাণু-ক্রমাঙ্ক 19) ক্ষেত্রে রাসায়নিক ধর্মের সাদৃশ্য দেখা যায়? এই দুটি মৌলের দুটি সদৃশ রাসায়নিক ধর্ম উদাহরণসহ উল্লেখ করো।

13. $_{11}A$, $_{12}B$, $_{13}C$, $_{14}D$, $_{15}E$, $_{16}F$, $_{17}G$, $_{18}G$—এই কয়টি মৌলকে পর্যায়-সারণীতে স্থান দাও এবং মৌলগুলি কোন্‌ পর্যায়ভুক্ত এবং কোন্‌ শ্রেণীতে অবস্থান করে বল। মৌলগুলির নীচের ধর্মগুলি সারণির বামদিক থেকে ডানদিকে এগোলে কীভাবে পরিবর্তিত হয় লেখো—**(i)** পরমাণুর আকার, **(ii)** ইলেকট্রোনেগেটিভ ধর্ম, **(iii)** যোজ্যতা, **(iv)** জারণ-বিজারণ ক্ষমতা, **(v)** অক্সাইডগুলির প্রকৃতি।

14. নীচে প্রদত্ত তথ্যগুলির ভিত্তিতে *X, Y* এবং *Z* এই তিনটি মৌলের জন্য পর্যায়-সারণিতে সঠিক অবস্থান নির্ণয় করো। **(i)** *X* মৌলটি O_2-এর সঙ্গে যুক্ত হয়ে একটিমাত্র অক্সাইড X_2O গঠন করে। অক্সাইডটি জলে দ্রবীভূত হয়ে তীব্র ক্ষার উৎপন্ন করে। **(ii)** *Y*-এর সমযোজী হাইড্রাইডের সংকেত YH_3 এবং *Y*-এর সর্বোচ্চ অক্সাইডের ফর্মুলা Y_2O_{51}। **(iii)** *Z*-এর হাইড্রাইড তীব্র আম্লিক, *Z* আয়নিত হয়ে Z^- আয়ন উৎপন্ন করে। **(iv)** *X, Y* এবং *Z* মৌল তিনটির পরমাণুর সবচেয়ে বাইরের মুখ্যস্তর সংখ্যা $n = 3$।

15. পর্যায়-সারণিতে বিভিন্ন মৌলগুলির বিন্যাসের সঙ্গে মৌলের ইলেকট্রন বিন্যাসের সম্পর্ক কী?

16. পর্যায় সারণিতে $(n-1)\,d^6ns^2$, $n = 4$ ইলেকট্রন বিন্যাস বিশিষ্ট মৌলটির স্থান নির্দেশ করো। মৌলটি কোন্‌ ব্লকের মৌল? এর কয়েকটি বিশেষ ধর্মের উল্লেখ করো।

17. *A, B* এবং *C* চিহ্নিত মৌলের পরমাণু-ক্রমাঙ্ক যথাক্রমে $Z-1$, Z এবং $Z-2$। এদের মধ্যে *B* একটি ক্ষার ধাতু। **(i)** কোনটির তড়িৎ-ঋণাত্মক ধর্ম সর্বাপেক্ষা অধিক? **(ii)** কোন্‌টির আয়নায়ন বিভব সর্বাপেক্ষা অধিক? **(iii)** *B* এবং *C* দ্বারা কী জাতীয় যৌগ উৎপন্ন হবে এবং গঠিত যৌগের সংকেত কী হবে? **[*H.S. 2001*]**

18. (a) মৌলের তড়িৎ-ঋণাত্মকতা বলতে কী বোঝায়? নীচের মৌলগুলির তড়িৎ ঋণাত্মকতার উর্ধ্বক্রমে সাজাও—
O, Te, Se, S. [***Ans.*** Te < Se < S < O]

(b) মৌলের পরমাণুর চেয়ে ওর অ্যানায়নের ব্যাসার্ধ বড়ো হয় কেন? ব্যাখ্যা করো। **(c)** মৌলের পরমাণুর চেয়ে এর ক্যাটায়নের ব্যাসার্ধ ছোটো হয় কেন? **(d)** একটি মৌলের ইলেকট্রন-বিন্যাস—$1s^2\,2s^2\,2p^6\,3s^2\,3p^6\,3d^8\,4s^2$ পর্যায়-সারণিতে এই মৌলের স্থান কোন্‌ পর্যায় এবং কোন্‌ শ্রেণিতে? এই মৌলটি কী? এর পারমাণবিক সংখ্যা ও যোজ্যতা কত?

[***Ans.*** 4র্থ পর্যায়ে 10 গ্রুপে। Ni পাঃ সংখ্যা 28, যোজ্যতা = 2]

19. (i) পটাশিয়াম আয়ন এবং ক্লোরাইড আয়নে সমসংখ্যক ইলেকট্রন বিদ্যমান। তাদের ব্যাসার্ধ কী সমান হবে?—ব্যাখ্যা করো।

(ii) ক্লোরিন পরমাণুর পারমাণবিক ব্যাসার্ধ 0·99 Å কিন্তু ক্লোরাইড আয়নের আয়নীয় ব্যাসার্ধ 1·81Å—কেন?

20. (a) প্রথম সন্ধি শ্রেণিতে কতগুলি মৌল আছে? এরা চতুর্থ পর্যায়ে অবস্থান করে কেন? **(b)** ইলেকট্রন-বিন্যাসের ভিত্তিতে আধুনিক পর্যায় সারণির বর্ণনা সংক্ষেপে লেখো।

21. (a) ক্রম ক্ষীয়মান ব্যাসার্ধ অনুসারে সাজাও—Mg^{++}, O^{--}, Na^+, F^-. **(b)** ক্রমবর্ধমান বন্ধন দৈর্ঘ্য অনুসারে সাজাও—F_2, N_2, Cl_2, O_2. **(c)** ক্রমবর্ধমান অ্যাসিড ধর্ম অনুসারে সাজাও—ZnO, Na_2O, P_2O_5, MgO.

22. নীচেরগুলিকে প্রদত্ত নির্দেশ অনুযায়ী সাজাও ঃ

(a) Na, Li, K—পরমাণুর আকার বৃদ্ধির ক্রমানুসারে। **(b)** Na, Cu, Zn—ইলেকট্রোপজিটিভ ধর্ম বৃদ্ধির ক্রমানুসারে। **(c)** Br, I, F, Cl—পরমাণুর আকার বৃদ্ধির ক্রমানুসারে। **(d)** Mg^{2+}, O^{2-}, Na^+, F^-, N^{3-}—আয়নের আকার হ্রাসের ক্রমানুসারে। **(e)** Cl^-, S^{2-}, Ca^{2+}, Ar—আকার বৃদ্ধির ক্রমানুসারে। **(f)** Mg, Al, Si, Na—আয়নীভবন বিভবের বৃদ্ধির ক্রম অনুসারে।

[***Ans.*** **(a)** Li < Na < K **(b)** Cu < Zn < Na **(c)** F < Cl < Br < I **(d)** $N^{3-} > O^{2-} > F^- > Na^+ > Mg^{2+}$ **(e)** $Ca^{2+} < Ar < S^{2-} < Cl^-$ **(f)** Na < Al < Mg < Si]

23. **(i)** প্রদত্ত জোড়গুলির মধ্যে কোনটি বেশি ধাতব গুণ সম্পন্ন—**(a)** Na বা K **(b)** Ba বা Ca **(c)** Li বা Rb **(d)** Br বা I. **(ii)** Ca^{2+}, K^+, S^{2-} এবং Cl^--এর বহির্নিউক্লীয় ইলেকট্রন সংখ্যা 18, আকারের ঊর্ধ্বক্রম অনুসারে ওদের সাজাও।

24. প্রশ্নগুলির উত্তর দাও— **(i)** একটি পরমাণুর 3*p* উপকক্ষে সবচেয়ে বেশি বিজোড় সংখ্যক ইলেকট্রন আছে। মৌলটির পারমাণবিক সংখ্যা কত? **(ii)** কোন্ মৌলের ইলেকট্রোনেগেটিভিটি সবচেয়ে বেশি এবং কোন্ মৌলের সবচেয়ে কম? **(iii)** অভ্যন্তরীণ সন্ধিগত মৌলগুলির কোন্ অর্বিট্যালে ইলেকট্রন ভর্তি হয়? **(iv)** পর্যায়-সারণিতে নীচের কোন্ মৌলগুলি একই শ্রেণিতে অবস্থান করে? Z = 24, 29, 42, 47 এবং 55? **(v)** K^+ এবং F^- আয়নের ব্যাসার্ধ প্রায় সমান 1·34Å, K এবং F-এর আপেক্ষিক সমযোজী ব্যাসার্ধ 1·34 Å চেয়ে বেশি না কম হবে?**(vi)** Mg-এর প্রথম আয়নীভবন বিভবের মান Na-এর আয়নীভবন বিভব বা Al-এর আয়নীভবন বিভবের চেয়ে বেশি কেন? **(vii)** ফ্লুওরিন পরমাণুকে F^- আয়নে পরিণত করার চেয়ে Cl পরমাণুকে Cl^- আয়নে পরিণত করা সহজ কেন? **(viii)** পর্যায়-সারণির কর্ণ বা কোণাকুণি সম্পর্কের উদাহরণ দাও। এই সম্পর্ক দেখা যায় কেন? **(ix)** F(*g*) থেকে F^-(*g*)-তে পরিণত হওয়ার প্রক্রিয়াই হল তাপোৎপাদক কিন্তু O^-(*g*) থেকে O^{-2}(*g*)-তে পরিণত হওয়া হল তাপশোষক—এর কারণ কী? **(x)** ফ্লুওরিনের ইলেকট্রোনেগেটিভিটি ক্লোরিনের চেয়ে বেশি হলেও F পরমাণুর ইলেকট্রন আসক্তি Cl পরমাণুর চেয়ে কম হয় কেন? নিষ্ক্রিয় গ্যাসগুলির সাধারণ ইলেকট্রন বিন্যাস লেখো। **(xi)** পর্যায়-সারণিতে একই পর্যায় IA থেকে VIIA পর্যন্ত যেতে পরমাণুর আকার হ্রাস পায় কেন? **(xii)** অর্বিট্যালের আবরণী ক্ষমতা বলতে কী বোঝ? ল্যান্থানাইড সংকোচন কাকে বলে?

25. 6, 11, 15 এবং 25 পরমাণু ক্রমাঙ্কবিশিষ্ট পরমাণুগুলির ইলেকট্রন বিন্যাস রচনা করো এবং পর্যায় সারণিতে ওদের অবস্থান নির্ণয় করো। **[*H.S. '91*]**

26. 18 এবং 26 পারমাণবিক সংখ্যা বিশিষ্ট মৌলদ্বয়ের পর্যায় এবং শ্রেণি লেখো। উক্ত মৌলদ্বয়ের প্রত্যেকের যোজ্যতা কীরূপ হতে পারে?

27. সর্বাধুনিক পর্যায় সারণিতে মোট কটি স্বীকৃত মৌল আছে? শেষ মৌলটির নাম, পারমাণবিক সংখ্যা ও চিহ্ন লেখো।
[***Ans.*** স্বীকৃত মৌল সংখ্যা = 109। সবশেষ কৃত্রিমভাবে প্রস্তুত মৌলটির নাম মাইটনেরিয়াম (Mt), পাঃ সংখ্যা 109]

28. 21 পরমাণু ক্রমাঙ্ক বিশিষ্ট মৌলটির ইলেকট্রন বিন্যাস দেখাও। এই মৌলটি কোন্ ব্লকের অন্তর্ভুক্ত। এই ব্লকের যেকোনো দুটি মৌলের নাম করো। এরা একই সিরিজভুক্ত কেন?

29. **(i)** পারমাণবিক আয়তনের সংজ্ঞা লেখো। [***H.S. '90***] **(ii)** F_2-এর বন্ধনীর বিয়োজনশক্তি (bond dissociation energy) Cl_2-এর চেয়ে কম কেন?

30. **(a)** একটি মৌলের পরমাণু ক্রমাঙ্ক 35-এর ইলেকট্রন সজ্জা লেখো এবং পর্যায় সারণিতে এর অবস্থান লেখো। মৌলটির সম্ভাব্য স্থায়ী জারণ অবস্থাগুলি কী হবে? **(b)** তড়িৎঋণাত্মকতার ধর্ম বৃদ্ধি অনুসারে সাজাও—H, F, O, Cl, S, N, এবং C.

31. একটি ধর্মের উল্লেখ করো যেটি মৌলগুলির পর্যায়গত ধর্ম নয়।

32. পর্যায় সারণিতে মৌলের কর্ণ সম্পর্ক কী?

33. একটি ধাতুর 1টি পরমাণুর পারমাণবিক আয়তন $1{\cdot}66 \times 10^{-23}$ cc. ধাতুটির পারমাণবিক গুরুত্ব কত? ধাতুর ঘনত্ব 2·7 গ্রাম/সিসি।
[**Hints :** 1 গ্রাম পরমাণু পরিমাণের আয়তন $6{\cdot}023 \times 10^{23} \times 1{\cdot}66 \times 10^{-23} = 6{\cdot}023 \times 1{\cdot}66$ সেমি³।
ধাতুর ভর = $6{\cdot}023 \times 1{\cdot}66 \times 2{\cdot}7$ গ্রাম = 27 গ্রাম। ধাতুটির 1 গ্রাম পারমাণবিক ওজন = 27 গ্রাম। সুতরাং পাঃ গুরুত্ব = 27]

34. সোডিয়ামের পাঃ ভর 23, Na-এর পাঃ আয়তন নির্ণয় করো। Na-এর ঘনত্ব 0·972 গ্রা/সেমি³।

35. কোন্ মৌলগুলিকে সন্ধিগত মৌল বলে? প্রথম সন্ধিগত মৌল শ্রেণি কোন পর্যায়ে আত্মপ্রকাশ করে এবং কেন? এই শ্রেণিতে কতগুলি মৌল আছে? Cu এবং Zn-কে কি সন্ধিগত মৌল বলা যায়? যুক্তি দাও। **[*H.S. '99*]**

36. **কারণ ব্যাখ্যা করো ঃ** **(i)** বোরনের চেয়ে কার্বন পরমাণুর প্রথম আয়নীভবন বিভব বেশি কিন্তু দ্বিতীয় আয়নীভবন বিভবের ক্ষেত্রে উলটোটি হয়। **(ii)** পরমাণু ব্যাসার্ধ এবং ভান্ডারওয়ালের ব্যাসার্ধ বলতে কী বোঝ? কোনো পরমাণুর অ্যানায়নের ব্যাসার্ধ পরমাণুটির আয়তনের চেয়ে বড়ো হয় কিন্তু ক্যাটায়নের আয়তন পরমাণুর চেয়ে ছোটো হয়। **(iii)** একটি পিরিয়ডে মৌলগুলির পারমাণবিক ব্যাসার্ধ কীরূপে পরিবর্তিত হয়? **(iv)** **(a)** Gr IA-তে হাইড্রোজেনকে রাখা সম্বন্ধে মন্তব্য করো। **(v)** পর্যায়-সারণিতে শূন্য গ্রুপের মৌলগুলির রাখার প্রয়োজনীয়তা কী? **(vi)** নীচের মৌল জোড়ের প্রত্যেকটির মধ্যে কোনটি বেশি তড়িৎঋণাত্মক এবং কেন? (i) I & Br, (ii) Mg & Al. **(vii)** পর্যায়-সারণির কোন্ গ্রুপে কঠিন, তরল এবং গ্যাসীয় তিন প্রকার মৌলই পাওয়া যায়? মৌলগুলি কী কী?

নৈর্ব্যক্তিক প্রশ্ন ঃ

সঠিক উত্তরটি নির্বাচন করো ঃ

(i) আধুনিক পর্যায় সূত্রটি দাঁড়িয়ে আছে—
(a) পারমাণবিক সংখ্যার উপর (b) পরমাণুর আকারের উপর (c) পারমাণবিক আয়তনের উপর (d) পারমাণবিক গুরুত্বের উপর।
[***Ans.*** (a)]

(ii) নীচের কোন্‌টির আকার সবচেয়ে ছোটো?
(a) N^{3-}, (b) O^{2-}, (c) F^-, (d) Na^+ [*Ans.* (d)]

(iii) নীচের কোন্‌টির আয়নীয় বিভব সবচেয়ে কম?
(a) N, (b) Be, (c) B, (d) C. [*Ans.* (c)]

(iv) পরিবর্তনশীল যোজ্যতা দেখা যায়—
(a) স্বাভাবিক মৌলগুলির, (b) ধাতব মৌলের, (c) অধাতব মৌলের, (d) সন্ধিগত মৌলের। [*Ans.* (d)]

(v) 24 পরমাণু ক্রমাঙ্ক বিশিষ্ট একটি পরমাণুর স্থান পর্যায় সারণির—
(a) 4 পর্যায়ে, (b) 3 পর্যায়ে, (c) 2 পর্যায়ে, (d) 1 পর্যায়ে। [*Ans.* (a)]

(vi) সর্বোচ্চ আয়নীভবন বিভব বিশিষ্ট মৌলটির নাম—
(a) বোরন, (b) কার্বন, (c) নাইট্রোজেন, (d) অক্সিজেন। [*Ans.* (c)]

(vii) C, N, O এবং F-এর দ্বিতীয় আয়নীভবন বিভবের সঠিক ক্রম—
(a) $C > N > O > F$, (b) $O > N > F > C$, (c) $O > F > N > C$, (d) $F > O > N > C$. [*Ans.* (c)]

(viii) নীচের মৌলগুলি যাদের ইলেকট্রন বিন্যাস দেওয়া আছে তাদের মধ্যে সর্বোচ্চ আয়নীভবন বিভব বিশিষ্ট মৌলটি হল—
(a) [Ne] $3s^2\ 3p^1$, (b) [Ne] $3s^2\ 3p^3$, (c) [Ne] $3s^2\ 2p^2$, (d) [Ar] $3d^{10}\ 4s^2\ 4p^2$. [*Ans.* (b)]

(ix) একটি পরমাণুর M পারমাণবিক গুরুত্ব 40 এবং ইলেকট্রন বিন্যাস 2.8.8.2. মৌলটির ক্ষেত্রে নীচের কোন্‌টি প্রযোজ্য নয়?
(a) মৌলটি পর্যায় সারণির II গ্রুপে আছে, (b) এর মধ্যে 20টি নিউট্রিন আছে, (c) এর অক্সাইডের সংকেত MO_2, (d) এটি চতুর্থ পর্যায়ে অবস্থান করে। [*Ans.* (c)]

(x) নীচের কোন্ ইলেকট্রন বিন্যাসটিতে ধাতব ধর্ম দেখা যায়?
(a) 2.8.2, (b) 2.8.4, (c) 2.8.8, (d) 2.7 [*Ans.* (a)]

(xi) একটি মৌল যার পরমাণুর বাইরের 2টি শক্তি স্তর অপূর্ণ—তাদের বলে—
(a) *s* ব্লক মৌল, (b) *p* ব্লক মৌল, (c) *d* ব্লক মৌল, (d) *f* ব্লক মৌল। [*Ans.* (d)]

(xii) Ce^{58} হল নীচের ব্লকের সভ্য—
(a) *s* ব্লক, (b) *p* ব্লক, (c) *d* ব্লক, (d) *f* ব্লক। [*Ans.* (a)] [*H. S. '78*]

(xiii) নীচের কোন্‌টি সর্বোচ্চ ইলেকট্রো-নেগেটিভ মৌল?—
(a) O_2, (b) Cl_2, (c) N_2, (d) F_2 [*Ans.* (d)]

(xiv) F থেকে I-তে গেলে ইলেকট্রো-নেগেটিভ—
(a) কমে, (b) বাড়ে, (c) প্রথমে কমে পরে বাড়ে, (d) এলোমেলোভাবে পরিবর্তিত হয়। [*Ans.* (a)]

(xv) নীচের মৌলগুলির ইলেকট্রো-নেগেটিভিটি বাড়ে নীচের ক্রম অনুযায়ী—
(a) C, N, Si, P; (b) N, Si, C, P; (c) Si, P, C, N; (d) P, Si, N, C. [*Ans.* (c)]

(xvi) N এবং O পরমাণুর ইলেকট্রন ভোল্ট এককে প্রথম আয়নীয় বিভবের মান হল যথাক্রমে—
(a) 14·6, 13·6; (b) 13·6, 14·6; (c) 13·6, 13·6; (d) 14·6, 14·6. [*Ans.* (a)]

(xvii) Na, Mg, Al এবং Si-এর প্রথম আয়নীয়ভবন বিভব এর ক্রম হল—
(a) $Na < Mg > Al < Si$, (b) $Na > Mg > Al > Si$, (c) $Na < Mg < Al > Si$, (d) $Na > Mg > Al < Si$. [*Ans.* (a)]

(xviii) Ni^{2+} এর মধ্যে (Ni-এর পরমাণু ক্রমাঙ্ক 28) কতগুলি বিজোড় ইলকট্রন বর্তমান?
(a) 0, (b) 2, (c) 4, (d) 8. [*Ans.* (b)]

(xix) নীচের কোন্‌টি প্যারাম্যাগনেটিক?
(a) N_2, (b) NO, (c) O_3, (d) CO. [*Ans.* (b)]

(xx) নীচের কোন্‌টি প্যারাম্যাগনেটিক?
(a) O_2^-, (b) CN^-, (c) CO, (d) NO. [*Ans.* (a)]

(xxi) প্রথম আয়নীয় বিভবের ক্রমধারা হল—
(a) $B < Be < C < O < N$, (b) $B < Be < C < N < O$, (c) $Be < B < C < N < O$, (d) $Be < B < C < O < N$. [*Ans.* (a)]

(xxii) পর্যায় সারণির সর্বাপেক্ষা হালকা ধাতুটি হল—
(a) H, (b) Na, (c) Li, (d) Ca. [*Ans.* (c)]

8 

রাসায়নিক বন্ধন এবং আণবিক গঠন
(Chemical Bonding & Molecular Structure)

8.1. যোজক ইলেকট্রন [Valency Electrons]

বেশির ভাগ মৌলের পরমাণুগুলি মুক্ত অবস্থায় থাকতে পারে না। বেশির ভাগ পদার্থই একাধিক পরমাণু দ্বারা গঠিত অণু রূপে অবস্থান করে, অর্থাৎ অণুগুলি একাধিক পরমাণু দ্বারা গঠিত হয়।

অণুর মধ্যে থাকা অবস্থায় পরমাণুগুলির পরস্পরের মধ্যে যে আকর্ষণী বলের প্রভাবে অণুর মধ্যে পরমাণুগুলি এক সাথে আবদ্ধ থাকে কিংবা অণু গঠনের জন্য যে আকর্ষণী বলের প্রভাবে দুই বা ততোধিক পরমাণুর মধ্যে মিলন হয়, তাকেই রাসায়নিক বন্ধন (Chemical bond) **বলে।**

দুটি এক জাতীয় বা ভিন্ন মৌলের পরমাণু যখন পরস্পর যুক্ত হয়ে মৌল বা যৌগের অণু উৎপন্ন করে, তখন পরমাণু দুটির সবচেয়ে বাইরের কক্ষের ইলেকট্রন এই মিলনে অংশ নেয় এবং ইলেকট্রনগুলি নতুনভাবে সজ্জিত হয়। ইলেকট্রনের একটি সুনির্দিষ্ট সমাবেশের ফলে পরমাণুগুলির মধ্যে রাসায়নিক বন্ধনের সৃষ্টি হয়।

● **যোজক ইলেকট্রন** (Valency electron) **ঃ পরমাণুর সবচেয়ে বাইরের কক্ষে যে কটি ইলেকট্রন থাকে, তারাই রাসায়নিক বন্ধনে অংশ নেয়। এইজন্য পরমাণুর সবচেয়ে বাইরের কক্ষের ইলেকট্রনগুলিকে 'যোজক ইলেকট্রন'** (Valence electron) **বলে।** পরমাণুর সবচেয়ে বাইরের কক্ষের ইলেকট্রনের সংখ্যার উপর মৌলের যোজ্যতা নির্ভর করে।

8.2. ইলেকট্রন অষ্টক নিয়ম [Octet rule of valency]

বিভিন্ন পরমাণুর যোজক ইলেকট্রনগুলি রাসায়নিক বিক্রিয়ায় অংশ নেয়, কিন্তু দেখা যায় যে, নিষ্ক্রিয় গ্যাসগুলির যোজক ইলেকট্রন রাসায়নিক বিক্রিয়ায় সাধারণত অংশ নেয় না। এই নিষ্ক্রিয় গ্যাসগুলির ইলেকট্রন-বিন্যাস লক্ষ করলে দেখা যায়, একমাত্র হিলিয়াম ছাড়া অন্যান্য নিষ্ক্রিয় গ্যাসগুলির **সবচেয়ে বাইরের কক্ষের ইলেকট্রন-সংখ্যা হল আট।**

বিভিন্ন নিষ্ক্রিয় গ্যাসের ইলেকট্রন-বিন্যাস নীচে দেখানো হল ঃ

নিষ্ক্রিয় গ্যাস	পাঃ সংখ্যা	K (n = 1)	L (n = 2)	M (n = 3)	N (n = 4)
হিলিয়াম He	2	$1s^2$	—	—	—
নিয়ন Ne	10	$1s^2$	$2s^2 2p^6$	—	—
আর্গন Ar	18	$1s^2$	$2s^2 2p^6$	$3s^2 3p^6$	—
ক্রিপ্টন Kr	36	$1s^2$	$2s^2 2p^6$	$3s^2 3p^6 3d^{10}$	$4s^2 4p^6$

নিষ্ক্রিয় গ্যাস হিলিয়ামের সবচেয়ে বাইরের কক্ষে 2টি এবং অন্যান্য নিষ্ক্রিয় গ্যাসগুলির সবচেয়ে বাইরের কক্ষে আটটি করে ইলেকট্রন থাকায় ওরা প্রত্যেকেই সুস্থিত। বিজ্ঞানীরা এই দেখে ধারণা করেন যে, অন্যান্য পরমাণুগুলিও নিজ নিজ যোজক **ইলেকট্রন সংখ্যা নিষ্ক্রিয় গ্যাসের মতো রেখে ওদের নিকটতম নিষ্ক্রিয় গ্যাসের মতো ইলেকট্রন-বিন্যাস লাভ করে সুস্থিত হতে চেষ্টা করে।** দেখা গেছে হাইড্রোজেন, লিথিয়াম প্রভৃতি কয়েকটি মৌল ছাড়া অন্যান্য মৌলের পরমাণুর সুস্থিত ইলেকট্রন-বিন্যাস হবে তখনই, যখন পরমাণুটির সবচেয়ে বাইরের কক্ষের ইলেকট্রন সংখ্যা = 8 হবে, অর্থাৎ সবচেয়ে বাইরের কক্ষে ইলেকট্রন অষ্টক পূর্ণ হবে। রসায়ন বিজ্ঞানে এই ঘটনা **যোজ্যতার ইলেকট্রন অষ্টক গঠনতত্ত্ব** (Octet theory of valency) নামে পরিচিত। তাই H, Li প্রভৃতি কয়েকটি পরমাণু ছাড়া **অন্যান্য পরমাণুর নিজেদের সর্ববাইরের কক্ষের ইলেকট্রন সংখ্যা সবসময় আট রাখার প্রবণতা আছে।** যেমন সোডিয়াম, নাইট্রোজেন, ক্লোরিন ইত্যাদি যে সমস্ত মৌলের পরমাণুর সবচেয়ে বাইরের কক্ষে আটটির কম ইলেকট্রন আছে, তারা সর্বদা নিজেদের পরমাণুর সর্ববাইরের কক্ষে আটটি ইলেকট্রন রাখতে চায়।

(i) এটি করার একটি উপায় হল, পরমাণুগুলিকে ইলেকট্রন বর্জন, না হয় ইলেকট্রন গ্রহণ করতে হবে। যেমন, **(a)** সোডিয়াম পরমাণুর ইলেকট্রন-বিন্যাস $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^1$, লক্ষ করলে দেখা যায় পরমাণুটির সবচেয়ে বাইরের M (n = 3) কক্ষে মাত্র একটি-ইলেকট্রন আছে, কিন্তু ঠিক আগের কক্ষে L (n = 2) আটটি ইলেকট্রন ভর্তি আছে। এখন সোডিয়াম পরমাণু যদি কোনো

উপায়ে ওর যোজন কক্ষের ওই ইলেকট্রনটি বর্জন করে, তাহলে Na পরমাণুটি ওর নিকটতম নিষ্ক্রিয় গ্যাস, **নিয়ন** পরমাণুর ইলেকট্রন-বিন্যাস $1s^2\ 2s^2\ 2p^6$ লাভ করে সুস্থিত হয়।

(b) ক্লোরিন পরমাণুর ইলেকট্রন-বিন্যাস $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^5$ দেখা যায় যোজন কক্ষে M ($n = 3$) সাতটি ইলেকট্রন আছে। এখন ক্লোরিন পরমাণুটি যদি কোনো উপায়ে একটি ইলেকট্রন অন্য পরমাণু থেকে সংগ্রহ করতে পারে, তাহলে পরমাণুটির বাইরের কক্ষে ইলেকট্রন অষ্টক পূর্ণ হয়ে আর্গনের ইলেকট্রন-বিন্যাস $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6$ লাভ করে।

(ii) এইভাবে সরাসরি ইলেকট্রন বর্জন বা গ্রহণ না করেও অন্য উপায়ে পরমাণুগুলি ওদের নিকটতম নিষ্ক্রিয় গ্যাসের ইলেকট্রন-বিন্যাস লাভ করতে পারে। এক্ষেত্রে দুটি পরমাণুর যোজন কক্ষ থেকে সমান সংখ্যক ইলেকট্রন এসে এক বা একাধিক ইলেকট্রন-জোড় গঠন করে, যার ওপর দুটি পরমাণুরই সমান অধিকার থাকে। এইভাবে ইলেকট্রন-জোড় গঠন করার মাধ্যমে পরমাণু দুটি নিষ্ক্রিয় গ্যাসের ইলেকট্রন-বিন্যাস লাভ করে। সুতরাং দেখা গেল যে, রাসায়নিক বন্ধনে পরমাণুর যোজন কক্ষের ইলেকট্রনগুলির স্বাভাবিক বিন্যাসের পরিবর্তন ঘটে।

এইভাবে যোজন কক্ষে ইলেকট্রন গ্রহণ বা যোজন কক্ষ থেকে ইলেকট্রন বর্জন করে অথবা দুটি পরমাণুর মধ্যে ইলেকট্রন-জোড় গঠন করার মাধ্যমে নিষ্ক্রিয় গ্যাসের ইলেকট্রন-বিন্যাস লাভ করার জন্য প্রত্যেক পরমাণুরই একটা তীব্র প্রবণতা দেখা যায়। এর ফলেই বিভিন্ন মৌলের যোজ্যতার অর্থাৎ একটি পরমাণুর সঙ্গে অন্য পরমাণুর যুক্ত হওয়ার ক্ষমতার সৃষ্টি হয়। এইভাবে পরমাণুগুলির মধ্যে যে বন্ধনের সৃষ্টি হয়ে মৌলিক বা যৌগিক অণু উৎপন্ন করার ক্ষমতা জন্মে, সেই বন্ধনকে রাসায়নিক বন্ধন বলে।

বিভিন্ন পরমাণু পরস্পরের সঙ্গে রাসায়নিক বন্ধনে আবদ্ধ হওয়ার সময় পরমাণুগুলির মধ্যে ইলেকট্রন বিন্যাসের পরিবর্তন ঘটে মোটামুটি নিম্নলিখিত দুটি উপায়ে ঃ

(1) তড়িৎ-যোজ্যতা বা আয়নীয়-যোজ্যতা (Electro-valency), **(2) সমযোজ্যতা** (Covalency)।

8.3. উদাহরণ সহ তড়িৎযোজী এবং সমযোজী বন্ধন [Electrovalent and covalent bonds with examples]

[A] তড়িৎযোজী বা আয়নীয় বন্ধন ঃ কতকগুলি ক্ষেত্রে দুটি পরমাণুর মিলনের সময়, একটি পরমাণু তার সবচেয়ে বাইরের কক্ষ থেকে এক বা একাধিক ইলেকট্রন বর্জন করে এবং অন্য পরমাণুটি সেই ইলেকট্রন অথবা ইলেকট্রনগুলি গ্রহণ করে নিজের সবচেয়ে বাইরের কক্ষে ধরে রাখে। **কাসেলের** (1916) মতে, পরমাণু দুটির এই ইলেকট্রন দেওয়া এবং নেওয়া এমনভাবে ঘটে যে, যার ফলে উভয় পরমাণুই ওদের নিকটতম নিষ্ক্রিয় গ্যাসের পরমাণুর ইলেকট্রন-বিন্যাস লাভ করে। দেখা যায় যে, ধাতব মৌলগুলির পরমাণুর সবচেয়ে বাইরের কক্ষে কম সংখ্যক (1, 2 কিংবা 3) ইলেকট্রন থাকে, কিন্তু এর ঠিক আগের কক্ষে 8টি ইলেকট্রন থাকে, তাই ধাতব মৌলগুলির পরমাণু খুব সহজেই ওদের সবচেয়ে বাইরের কক্ষের ইলেকট্রন অন্য পরমাণুকে দান করে নিষ্ক্রিয় গ্যাসের কাঠামো পায়। অন্যদিকে অধাতব মৌলগুলির পরমাণুর সবচেয়ে বাইরের কক্ষে বেশি সংখ্যক ইলেকট্রন থাকে—দু-একটি ইলেকট্রন পেলেই ওরা নিষ্ক্রিয় গ্যাসের কাঠামো পায়। সেইজন্য অন্য পরমাণু থেকে প্রয়োজনমতো একটি বা দুটি ইলেকট্রন গ্রহণ করে অধাতব মৌলগুলির পরমাণু নিষ্ক্রিয় গ্যাসের ইলেকট্রন বিন্যাস লাভ করে।

সাধারণ নিয়ম হল, যখন কোনো ইলেকট্রো-পজিটিভ মৌলের সঙ্গে ইলেকট্রো-নেগেটিভ মৌলের রাসায়নিক বিক্রিয়া হয় তখন ইলেকট্রো-পজিটিভ মৌল অর্থাৎ **ধাতুর পরমাণু ইলেকট্রন বর্জন করে এবং ইলেকট্রো-নেগেটিভ মৌল বা অধাতুর পরমাণু ইলেকট্রন গ্রহণ করে।** সাধারণ অবস্থায় পরমাণুর মধ্যে ইলেকট্রন ও প্রোটনের সংখ্যা সমান থাকায় পরমাণুটি নিস্তড়িত থাকে। এখন কোনো পরমাণু থেকে এক বা একাধিক ইলেকট্রন চলে যাওয়ার ফলে পরমাণুটি পজিটিভ তড়িৎগ্রস্ত হয়ে ক্যাটায়নে পরিণত হয়। আবার ওই ইলেকট্রন কোনো পরমাণু গ্রহণ করার ফলে ওই পরমাণুতে ইলেকট্রনের আধিক্য ঘটায় নেগেটিভ তড়িৎগ্রস্ত হয়ে অ্যানায়নে পরিণত হয়। এইভাবে যে বিপরীত তড়িৎগ্রস্ত আয়নের সৃষ্টি হয়, তারা পরস্পরের সঙ্গে তড়িৎ আকর্ষণে মিলিত হয়ে যৌগিক অণুর সৃষ্টি করে।

● **তড়িৎ-যোজ্যতার সংজ্ঞা ঃ নিকটতম নিষ্ক্রিয় গ্যাসের পরমাণুর মতো ইলেকট্রন-বিন্যাস লাভের চেষ্টায় একটি পরমাণুর সবচেয়ে বাইরের কক্ষের ইলেকট্রন, অন্য পরমাণুর সবচেয়ে বাইরের কক্ষে স্থানান্তরিত হয়ে তড়িৎ আকর্ষণের সাহায্যে পরস্পর যুক্ত হয়ে যৌগ গঠনের ক্ষমতাকে আয়নীয় বা তড়িৎ-যোজ্যতা বলে।**

এইভাবে তড়িৎ আকর্ষণের মাধ্যমে দুটি পরমাণুর মধ্যে যে বন্ধনের সৃষ্টি হয় তাকে আয়নীয় বন্ধন বলা হয়।

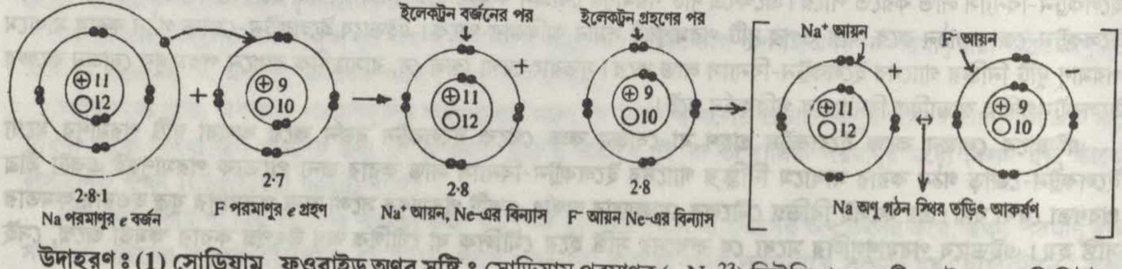
● **তড়িৎযোজী বা আয়নীয় যৌগ ঃ একাধিক পরমাণু ইলেকট্রন বর্জন বা গ্রহণ করে বিপরীত চার্জ যুক্ত আয়নে পরিণত হয়ে তড়িৎ আকর্ষণ দ্বারা যুক্ত হয়ে যে যৌগ উৎপন্ন করে, তাকে তড়িৎযোজী বা আয়নীয় যৌগ বলে।**

যেমন Na পরমাণু 1টি ইলেকট্রন বর্জন করে Na^+ আয়নে পরিণত হয়। Cl পরমাণু সেই বর্জিত ইলেকট্রন গ্রহণ করে Cl^-

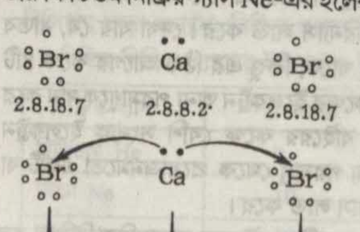
আয়নে পরিণত হয়। Na^+ এবং Cl^- আয়ন তড়িৎ আকর্ষণ দ্বারা পরস্পর যুক্ত হয়ে NaCl অণু গঠন করে। NaCl তড়িৎযোজী যৌগ।

● **তড়িৎ-যোজ্যতার পরিমাপ ঃ যৌগ গঠনের সময় একটি পরমাণু যত সংখ্যক ইলেকট্রন বর্জন করে বা গ্রহণ করে, সেই সংখ্যা দ্বারা ওই পরমাণুর তড়িৎ-যোজ্যতা পরিমাপ করা হয়।**

যেমন Ca পরমাণুর সবচেয়ে বাইরের কক্ষে 2টি ইলেকট্রন আছে (2.8.8.2), যৌগ গঠনের সময় Ca পরমাণু যোজনকক্ষের ওই দুটি ইলেকট্রন বর্জন করে। অতএব Ca-র তড়িৎযাজ্যতা হয় 2।



উদাহরণ ঃ (1) সোডিয়াম ফ্লুওরাইড অণুর সৃষ্টি ঃ সোডিয়াম পরমাণুর ($_{11}Na^{23}$) নিউক্লিয়াসে 11টি প্রোটন ও 12টি নিউট্রন আছে। পরমাণুটির ইলেকট্রন-বিন্যাস হল (2.8.1) অর্থাৎ M ($n = 3$) কক্ষে 1টি ইলেকট্রন আছে। ফ্লুওরিন পরমাণুর ($_{9}F^{19}$) নিউক্লিয়াসে 9টি প্রোটন ও 10টি নিউট্রন আছে, পরমাণুটির ইলেকট্রন বিন্যাস হল (2.7) অর্থাৎ L কক্ষে ($n = 2$) মোট 7টি ইলেকট্রন আছে। এখন উভয় পরমাণু চায় বাইরের কক্ষে 8টি ইলেকট্রন রাখতে। এই দুটি পরমাণুর রাসায়নিক সংযোগ ঘটার সময় সোডিয়াম পরমাণু নিজের সবচেয়ে বাইরের কক্ষের 1টি ইলেকট্রন ত্যাগ করে, ফলে পরমাণুটি Na^+ আয়নে পরিণত হয়। ফ্লুওরিন পরমাণু ওই ইলেকট্রনটি নিজের সবচেয়ে বাইরের কক্ষে গ্রহণ করে F^- আয়নে পরিণত হয়। এইভাবে ইলেকট্রন আদান-প্রদান হওয়ার ফলে Na পরমাণুর L ($n = 2$) কক্ষটি সবচেয়ে বাইরের কক্ষে পরিণত হয়, এর মধ্যে 8টি ইলেকট্রন থাকে। এইভাবে Na পরমাণুটি তার নিকটতম নিষ্ক্রিয় গ্যাস Ne-এর ইলেকট্রন-বিন্যাস লাভ করে। F পরমাণুর শেষ স্তরে 7টি ইলেকট্রন ছিল, এখন Na পরমাণুর 1টি ইলেকট্রন যুক্ত হওয়ায় F পরমাণু শেষ স্তরে ইলেকট্রন সংখ্যা দাঁড়ায় 8। ফলে ওর নিকটতম নিষ্ক্রিয় গ্যাস Ne-এর ইলেকট্রন-বিন্যাস লাভ করে। এইভাবে উৎপন্ন Na^+ এবং F^- আয়নগুলি তড়িৎ-আকর্ষণে পরস্পরযুক্ত হয়ে NaF অণু গঠন করে। NaCl, NaBr বা NaI অণু একই ভাবে সৃষ্ট হয়।

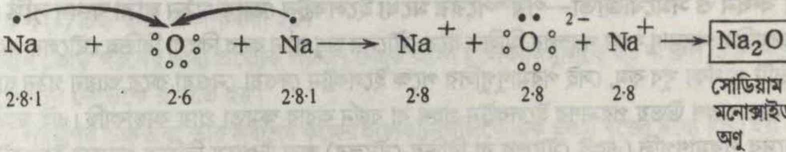


সুতরাং **NaF, NaCl, NaBr, NaI** হল তড়িৎযোজী যৌগ, একটি ইলেকট্রন ত্যাগ করায় সোডিয়ামের তড়িৎ-যোজ্যতা = 1, F, Br বা I পরমাণু একটি করে ইলেকট্রন গ্রহণ করায়, ওদের প্রত্যেকের তড়িৎযোজ্যতা = 1।

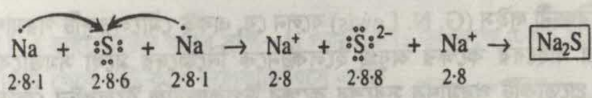
(2) ক্যালশিয়াম ব্রোমাইড অণুর গঠন ঃ Ca পরমাণুর ($_{20}Ca^{40}$) ইলেকট্রন-বিন্যাস হল (2.8.8:2) অর্থাৎ Ca পরমাণুর সবচেয়ে বাইরের N ($n = 4$) কক্ষে 2টি ইলেকট্রন আছে এবং Br পরমাণুর ($_{35}Br$) ইলেকট্রন-বিন্যাস (2.8.187) অর্থাৎ N ($n = 4$) কক্ষে মোট 7টি ইলেকট্রন আছে। Ca পরমাণু নিষ্ক্রিয় গ্যাস Ar-এর ইলেকট্রন-বিন্যাস লাভের চেষ্টায় ওই দুটি ইলেকট্রন দুটি Br পরমাণুকে দান করে Ca^{++} আয়নে পরিণত হয়। অপরদিকে 2টি Br পরমাণুর প্রত্যেকে একটি করে ওই বর্জিত ইলেকট্রন গ্রহণ করে Br^- আয়নে পরিণত হয় এবং নিষ্ক্রিয় গ্যাস Kr-এর ইলেকট্রন-বিন্যাস লাভ করে। এইভাবে উৎপন্ন আয়নগুলি পরস্পর তড়িৎ আকর্ষণ বা তড়িৎযোজী বন্ধন দ্বারা যুক্ত হয়ে $CaBr_2$ যৌগের অণু উৎপন্ন করে। **একইভাবে $CaCl_2$ অণু উৎপন্ন হয়।**

(3) সোডিয়াম অক্সাইড অণুর সৃষ্টি ঃ সোডিয়াম পরমাণুর ($_{11}Na$) ইলেকট্রন-বিন্যাস (2.8.1) অর্থাৎ সবচেয়ে বাইরের কক্ষে 1টি ইলেকট্রন আছে। O পরমাণুর ইলেকট্রন-বিন্যাস (2.6) অর্থাৎ ওর বাইরের কক্ষে মোট 6টি ইলেকট্রন থাকে। এখন O পরমাণু Ne-এর ইলেকট্রন-বিন্যাস লাভ করে সুস্থিত হওয়ার চেষ্টায় দুটি Na পরমাণুর প্রত্যেকটির সবচেয়ে বাইরের কক্ষ থেকে 1টি করে ইলেকট্রন গ্রহণ করে Ne-এর ইলেকট্রন-বিন্যাস পায় এবং O^{2-} আয়নে পরিণত হয়। দুটি Na পরমাণু প্রত্যেকে 1টি করে ইলেকট্রন

বর্জন করে Na^+ আয়নে পরিণত হয়। 2টি Na^+ আয়ন এবং একটি O^{--} আয়ন তড়িৎ আকর্ষণ দ্বারা পরস্পর যুক্ত হয়ে Na_2O অণু গঠন করে।

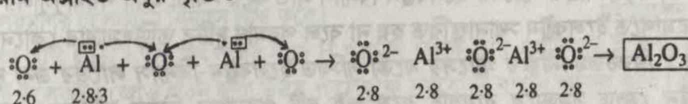


একইভাবে সোডিয়াম সালফাইড অণুর সৃষ্টি হয়

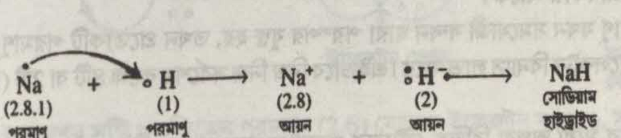


অ্যালুমিনিয়াম অক্সাইড, সোডিয়াম হাইড্রাইড, ম্যাগনেশিয়াম অক্সাইড, ক্যালশিয়াম সালফাইড, ক্যালশিয়াম ক্লোরাইড অণুর সৃষ্টি কীভাবে হয় দেখানো হল—

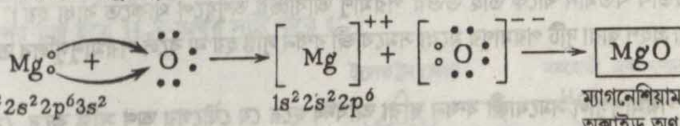
(4) অ্যালুমিনিয়াম অক্সাইড অণুর সৃষ্টি ঃ



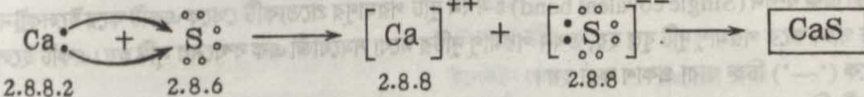
(5) সোডিয়াম হাইড্রাইড অণুর গঠন ঃ H পরমাণুর চেয়ে Na পরমাণু বেশি তড়িৎ ধনাত্মক হওয়ায়, Na পরমাণু তার সবচেয়ে বাইরের কক্ষের 1টি ইলেকট্রন বর্জন করে নিয়ন গ্যাসের কাঠামো লাভ করে Na^+ আয়নে পরিণত হয়। H পরমাণু ওই বর্জিত ইলেকট্রন গ্রহণ করে He-এর কাঠামো লাভ করে H^- আয়নে পরিণত হয়। Na^+ এবং H^- পরস্পর তড়িৎ আকর্ষণে যুক্ত হয়ে NaH অণু গঠন করে।



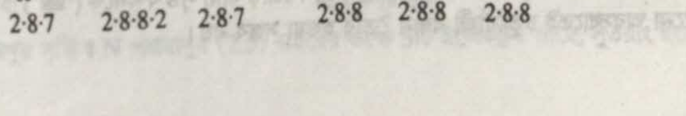
(6) ম্যাগনেশিয়াম অক্সাইড অণুর সৃষ্টি ঃ



(7) ক্যালশিয়াম সালফাইড অণুর সৃষ্টি ঃ



(8) ক্যালশিয়াম ক্লোরাইড অণু ঃ



বন্ধনের ফলে সৃষ্ট প্রতিটি আয়নের সবচেয়ে বাইরের কক্ষে আটটি ইলেকট্রন থাকে। এর ফলে প্রত্যেকটি আয়নই নিষ্ক্রিয় গ্যাসের কাঠামো পায়। **এইজন্যই আয়নগুলি সুস্থিত হয় এবং আয়নের ধর্ম পরমাণুর ধর্ম থেকে সম্পূর্ণ পৃথক হয়।**

[B] সমযোজী বন্ধন ও সমযোজ্যতা—পরস্পরের মধ্যে ইলেকট্রন জোড় গঠন দ্বারা বন্ধন সৃষ্টি ঃ

একই মৌলের একাধিক পরমাণু যখন পরস্পর মিলিত হয়ে মৌলের অণু গঠন করে কিংবা বিভিন্ন মৌলের পরমাণুগুলি যাদের ইলেকট্রো-নেগেটিভিটি পার্থক্য খুব কম, সেই পরমাণুগুলির পক্ষে ইলেকট্রন দেওয়া নেওয়া করে আয়ন গঠন দ্বারা যৌগিক অণু গঠন করা সম্ভব হয় না। কারণ উভয় পরমাণুর ইলেকট্রন গ্রহণ বা বর্জন করার ক্ষমতা প্রায় কাছাকাছি। এই জাতীয় মৌলগুলির ক্ষেত্রে দেখা যায়, ওদের পরমাণুগুলি (একই মৌলের বা বিভিন্ন মৌলের) অন্য উপায়ে নিষ্ক্রিয় গ্যাসের ইলেকট্রন-বিন্যাস লাভ করে।

1916 খ্রিস্টাব্দে আমেরিকান বিজ্ঞানী **বিজ্ঞানী লুইস** (G. N. Lewis) বলেন যে, **একই মৌলের দুটি পরমাণু বা দুটি বিভিন্ন মৌলের দুটি পরমাণু নিজেদের সবচেয়ে বাইরের কক্ষের অযুগ্ম ইলেকট্রনকে নিজেদের মধ্যে সমভাবে ব্যবহার করে পরস্পরের সঙ্গে মিলিত হয়। এইভাবে প্রত্যেকটি পরমাণুর সর্বশেষ কক্ষের উপকক্ষগুলি ইলেকট্রন জোড় দ্বারা পূর্ণ হয়, যাদের ঘূর্ণন পরস্পরের বিপরীত দিকে হয়।**

লুইসের মত অনুযায়ী, এইভাবে যৌগ বা মৌলের অণু গঠনের সময় এক বা একাধিক ইলেকট্রন জোড়কে দুটি পরমাণু সমভাবে ব্যবহার করার ফলে উভয় পরমাণুই নিষ্ক্রিয় গ্যাসের ইলেকট্রন বিন্যাস লাভ করে স্থায়ী হয়। পরমাণুগুলির এই জাতীয় মিলনে **এক পরমাণু থেকে অন্য পরমাণুতে ইলেকট্রন স্থানান্তরিত হয় না বলে পরমাণু দুটির তড়িৎমাত্রার কোনো পরিবর্তন হয় না।**

● **সমযোজ্যতার সংজ্ঞা ঃ** ***নিকটতম নিষ্ক্রিয় গ্যাসের মতো সুস্থিত ইলেকট্রন-বিন্যাস লাভের জন্য দুটি পরমাণুর মধ্যে এক বা একাধিক ইলেকট্রন জোড় সমভাবে ব্যবহৃত হয়ে ওই দুটি পরমাণুর মিলন ঘটাবার ক্ষমতাকে সমযোজ্যতা (Covalency)*** **বলে এবং পরমাণু দুটির মধ্যে সৃষ্ট বন্ধনকে সমযোজী বন্ধন বলে।**

এইভাবে দুই পরমাণুর মধ্যে যে বন্ধনের সৃষ্টি হয়, তার বিশেষত্ব হল এই যে—

(i) উভয় পরমাণু থেকে সমসংখ্যক ইলেকট্রন এসে যে এক বা একাধিক ইলেকট্রন জোড়ের সৃষ্টি করে, **সেই ইলেকট্রন জোড়ের উপর উভয় পরমাণুরই সমান অধিকার থাকে।**

(ii) লুইসের মতে দুটি পরমাণু যখন সমযোজী বন্ধন দ্বারা পরস্পর যুক্ত হয়, তখন প্রত্যেকটি পরমাণু তার নিকটতম নিষ্ক্রিয় গ্যাসের পরমাণুর মতো সুস্থিত ইলেকট্রন বিন্যাস লাভ করে। এইভাবে নিজ নিজ সর্বশেষ কক্ষে 8টি বা 2টি (H, Li প্রভৃতির ক্ষেত্রে) ইলেকট্রন পূর্তি করে।

(iii) একই মৌলের পরমাণুর মধ্যে অথবা বিভিন্ন মৌলের পরমাণুর মধ্যে সমযোজী বন্ধন সৃষ্টি হতে পারে।

(iv) একটি বা একাধিক ইলেকট্রন জোড় গঠন করে দুটি পরমাণুর মধ্যে মিলন হয় এবং ওই ইলেকট্রন জোড়গুলির উপর উভয় পরমাণুর নিউক্লিয়াসের প্রভাব বর্তমান থাকে তাই উভয় পরমাণু অবিচ্ছিন্ন অণুরূপে থাকতে বাধ্য হয়।

(v) ইলেকট্রন বর্জন বা গ্রহণ দ্বারা দুটি পরমাণুর মধ্যে সমযোজী বন্ধন সৃষ্টি হয় না বলে **পরমাণুগুলির তড়িৎমাত্রায় কোনোরূপ পরিবর্তন হয় না।**

(vi) বিভিন্ন মৌলের পরমাণুগুলি সমযোজী বন্ধন দ্বারা আবদ্ধ হয়ে যে যৌগের অণু সৃষ্টি করে, সেই যৌগকে সমযোজী যৌগ (Covalent compound) বলে।

● **সমযোজী বন্ধনের প্রকার** (Types of Covalent bond) **ঃ**

(i) সমযোজী এক বন্ধন (Single covalent bond) **ঃ** যখন দুটি পরমাণুর প্রত্যেকটি থেকে একটি করে ইলেকট্রন এসে একটি ইলেকট্রন জোড় গঠন করে পরমাণু দুটি যুক্ত হয়, তখন পরমাণু দুটির মধ্যে সমযোজী এক বন্ধনের সৃষ্টি হয়। একটি ইলেকট্রন জোড় দ্বারা সৃষ্ট বন্ধনকে ('—') চিহ্ন দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

(ii) সমযোজী দ্বি-বন্ধন (Double bond) **ঃ** যখন দুটি পরমাণুর প্রত্যেকটি থেকে **দুটি করে ইলেকট্রন এসে দুটি ইলেকট্রন** জোড় গঠন করে পরস্পর মিলিত হয়, তখন পরমাণু দুটির মধ্যে **দ্বি-বন্ধনের** সৃষ্টি হয়। দুটি ইলেকট্রন জোড় দ্বারা সৃষ্ট বন্ধনকে ('=') চিহ্ন দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

(iii) ত্রিযোজী বন্ধন (Triple bond) **ঃ** দুটি পরমাণুর প্রত্যেকটি থেকে তিনটি করে ইলেকট্রন এসে তিনটি ইলেকট্রন জোড় গঠন করে পরমাণু দুটি মিলিত হয়ে ত্রিবন্ধনের সৃষ্টি করে। তিনটি ইলেকট্রন জোড় দ্বারা সৃষ্ট বন্ধনকে ('≡') চিহ্ন দ্বারা প্রকাশ করা হয়। দুটি পরমাণুর মধ্যে কোনো অবস্থাতেই চতুর্যোজী বন্ধন তৈরি হওয়া সম্ভব নয়।

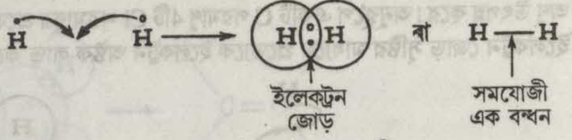
● **সমযোজী মৌলিক এবং যৌগিক অণুর গঠন—লুইস ফর্মূলা**

(i) সমযোজী বন্ধনে নিযুক্ত পরমাণুগুলির চিহ্ন লিখে প্রত্যেকটি পরমাণুর সবচেয়ে বাইরের কক্ষের ইলেকট্রনগুলিকে ডট (•) বা (◦) চিহ্ন বা ক্রস (×) চিহ্ন দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

(ii) ইলেকট্রন জোড় গঠনের জন্য প্রত্যেক পরমাণু থেকে আসা ইলেকট্রনগুলিকে ডট বা ক্রস চিহ্ন দিয়ে প্রকাশ করে পরমাণু দুটির মাঝে ইলেকট্রন জোড়কে রাখতে হয়।

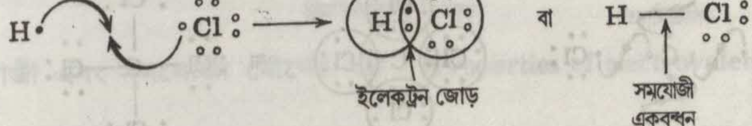
(iii) প্রতিটি পরমাণুর চিহ্ন এবং তার সর্বশেষ কক্ষের ইলেকট্রনগুলিকে এক একটি বৃত্তের মধ্যে রাখা হয় যেন দুটি বৃত্তের মধ্যেই ইলেকট্রন মোড় বা মোড়গুলি স্থান পায়। এইভাবে প্রত্যেক বৃত্তের মধ্যে 8টি করে ইলেকট্রন (H পরমাণুর ক্ষেত্রে 2টি ইলেকট্রন) স্থান পায়।

উদাহরণ (1) ঃ হাইড্রোজেন অণুর সৃষ্টি—H পরমাণুর 1*s* উপকক্ষে একটি ইলেকট্রন আছে। H_2 অণু গঠনের সময় 2টি H পরমাণুর প্রত্যেকটি থেকে 1টি করে ইলেকট্রন এসে একটি ইলেকট্রন যুগল গঠনের মাধ্যমে উভয় পরমাণুকে সমযোজী বন্ধনে আবদ্ধ করে H_2 অণু উৎপন্ন করে। এই ইলেকট্রন জোড়টিকে উভয় পরমাণু সমানভাবে ব্যবহার করে বলে উভয় পরমাণু হিলিয়াম পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাস লাভ করে।

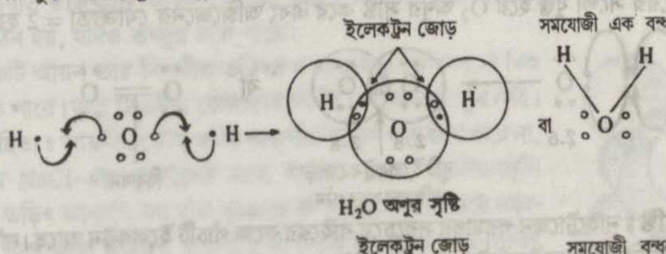


হাইড্রোজেন অণুর সৃষ্টি

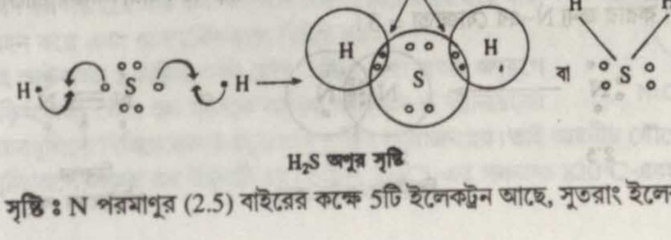
***(b)* HCl অণুর সৃষ্টি ঃ** HCl অণু উৎপন্নের সময় H পরমাণু থেকে তার একটি মাত্র ইলেকট্রন এবং Cl পরমাণু থেকে 1টি ইলেকট্রন এসে 1টি ইলেকট্রন জোড় গঠন দ্বারা উভয় পরমাণুকে সমযোজী বন্ধনে আবদ্ধ করে। এর ফলে H পরমাণুটি সুস্থিত হিলিয়ামের ইলেকট্রন বিন্যাস লাভ করে এবং Cl পরমাণু আর্গনের ইলেকট্রন বিন্যাস লাভ করে HCl অণু গঠন করে। একইভাবে **HF, HBr, HI অণুর সৃষ্টি হয়।**



(2) H_2O এবং H_2S অণুর সৃষ্টি ঃ অক্সিজেন পরমাণুর (2.6) যোজক-ইলেকট্রন সংখ্যা 6, সুতরাং স্থায়ী ইলেকট্রন অষ্টক লাভ করতে হলে আরও 2টি ইলেকট্রন দরকার। তাই 1টি O পরমাণু থেকে 2টি ইলেকট্রন এবং 2টি H পরমাণুর প্রত্যেকটি থেকে 1টি করে ইলেকট্রন এসে দুটি ইলেকট্রন জোড় গঠন দ্বারা পরস্পর যুক্ত হয়ে H_2O অণুর সৃষ্টি করে। একইভাবে একটি S পরমাণু এবং 2টি H পরমাণু পরস্পর যুক্ত হয়ে **H_2S-অণুর সৃষ্টি করে ঃ**



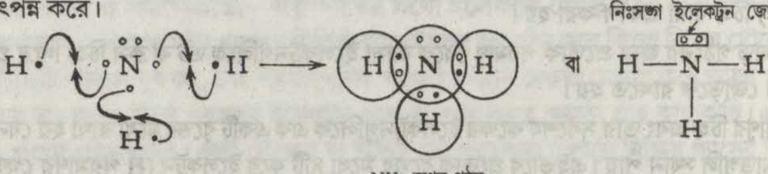
H_2O অণুর সৃষ্টি



H_2S অণুর সৃষ্টি

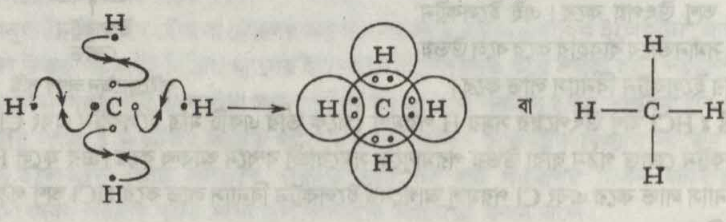
(3) NH_3 অণুর সৃষ্টি ঃ N পরমাণুর (2.5) বাইরের কক্ষে 5টি ইলেকট্রন আছে, সুতরাং ইলেকট্রন অষ্টক লাভ করতে হলে

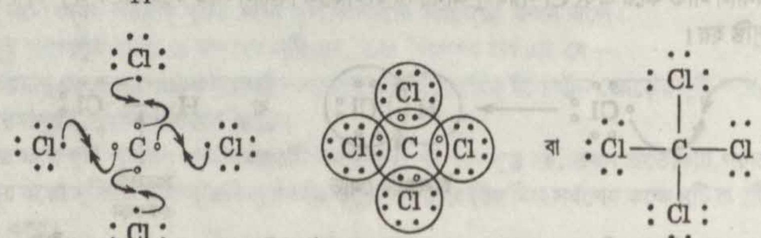
আরও 3টি ইলেকট্রন দরকার। H পরমাণুর সঙ্গে N পরমাণু যুক্ত হওয়ার সময় 3টি H পরমাণুর প্রত্যেকটি থেকে 1টি করে ইলেকট্রন ও N পরমাণু থেকে আসা 3টি ইলেকট্রন মিলে 3টি ইলেকট্রন জোড় গঠন দ্বারা N পরমাণুটি স্থায়ী নিয়নের ইলেকট্রন বিন্যাস লাভ করে NH_3 অণু উৎপন্ন করে।



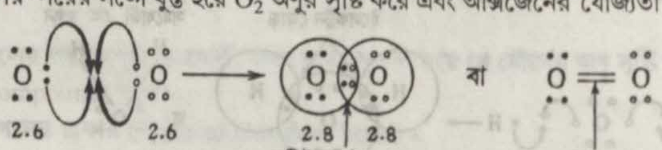
NH_3 অণুর গঠন

(4) CH_4, CCl_4 অণুর সৃষ্টি : C পরমাণুর যোজক-ইলেকট্রন 4টি। একটি C পরমাণু, 4টি H পরমাণুর প্রত্যেকের সঙ্গে একটি করে ইলেকট্রন জোড় গঠন করে মোট 4টি ইলেকট্রন জোড় সৃষ্টি করে স্থায়ী ইলেকট্রন বিন্যাস (ইলেকট্রন অষ্টক) লাভ করে মিথেন অণু উৎপন্ন করে। অনুরূপে একটি C পরমাণু 4টি Cl পরমাণুর প্রত্যেকের সঙ্গে একটি করে ইলেকট্রন জোড় গঠন করে মোট 4টি ইলেকট্রন জোড় সৃষ্টির মাধ্যমে প্রত্যেকে ইলেকট্রন অষ্টক লাভ করে CCl_4 অণু উৎপন্ন করে।



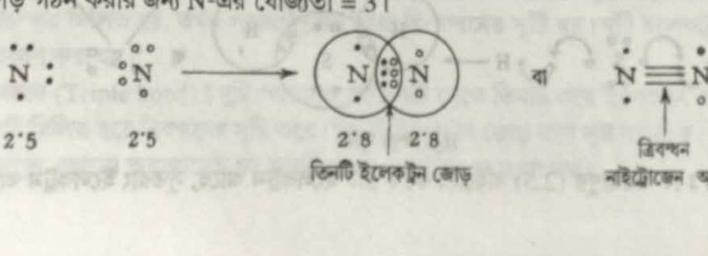


(5) অক্সিজেন অণুর সৃষ্টি : অক্সিজেন পরমাণুর যোজন কক্ষে 6টি ইলেকট্রন আছে। অক্সিজেন অণু গঠনের সময় প্রতিটি অক্সিজেন পরমাণু নিজ নিজ যোজন কক্ষের 2টি করে ইলেকট্রন দিয়ে 2টি ইলেকট্রন জোড় গঠন করে যাকে দুটি O পরমাণুই সমভাবে ব্যবহার করে। ফলে প্রতিটি O-পরমাণুই নিষ্ক্রিয় নিয়ন গ্যাসের কাঠামো লাভ করে। 2টি ইলেকট্রন জোড় গঠন করে বলে দ্বি-বন্ধন দ্বারা O-পরমাণু দুটি পরস্পরের সঙ্গে যুক্ত হয়ে O_2 অণুর সৃষ্টি করে এবং অক্সিজেনের যোজ্যতা = 2 হয়।

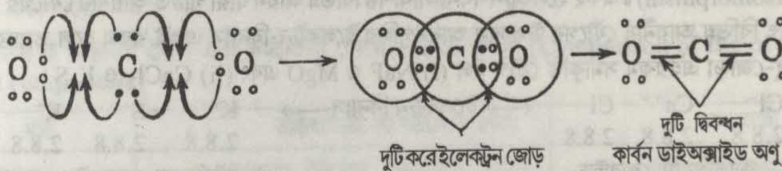


অক্সিজেন অণুর গঠন

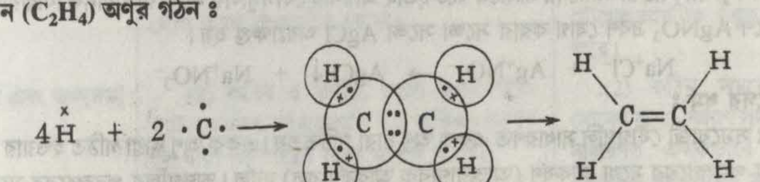
(6) নাইট্রোজেন অণুর সৃষ্টি : নাইট্রোজেন পরমাণুর সবচেয়ে বাইরের কক্ষে পাঁচটি ইলেকট্রন আছে। নাইট্রোজেন অণু গঠনের সময় দুটি N পরমাণুর প্রত্যেকে তিনটি করে ইলেকট্রন দিয়ে তিনটি ইলেকট্রন জোড় গঠন দ্বারা নিষ্ক্রিয় গ্যাসের কাঠামো লাভ করে। তিনটি ইলেকট্রন জোড় গঠন করার জন্য N-এর যোজ্যতা = 3।



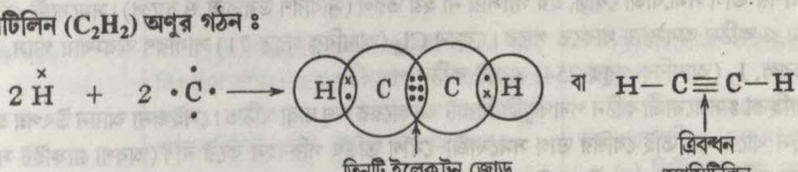
(7) CO_2 অণুর গঠন ঃ C পরমাণুর (2.4) সবচেয়ে বাইরের কক্ষে 4টি ইলেকট্রন থাকে। O_2-এর সঙ্গে বিক্রিয়ার সময় C-পরমাণুটি 2টি O পরমাণুর প্রত্যেকটির সঙ্গে 2টি করে ইলেকট্রন জোড় গঠন দ্বারা, C পরমাণু এবং প্রত্যেকটি O পরমাণু নিষ্ক্রিয় গ্যাসের ইলেকট্রন বিন্যাস পায়। C পরমাণু প্রত্যেক O পরমাণুর সঙ্গে দ্বি-বন্ধন দ্বারা যুক্ত থাকে।



(8) ইথিলিন (C_2H_4) অণুর গঠন ঃ



(9) অ্যাসিটিলিন (C_2H_2) অণুর গঠন ঃ



8.4. তড়িৎযোজী এবং সমযোজী যৌগের ধর্ম [Properties of electrovalent and covalent compound]

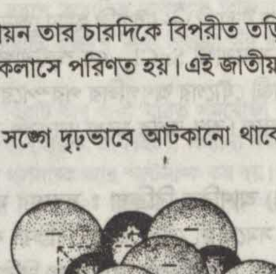
(a) তড়িৎযোজী যৌগের ধর্ম ঃ

(1) ভৌত অবস্থা ঃ আয়নীয় যোজ্যতার ফলে উৎপন্ন যৌগগুলির অণুতে প্রতিটি আয়ন তার চারদিকে বিপরীত তড়িৎগ্রস্ত আয়ন দ্বারা ঘেরা থাকে। এর ফলে যৌগগুলি **ত্রিমাত্রিক জ্যামিতিক আকারবিশিষ্ট** কঠিন কেলাসে পরিণত হয়। এই জাতীয় যৌগ সাধারণ উষ্ণতায় এবং চাপে তরল বা গ্যাসীয় হয় না।

(2) কাঠিন্য ঃ বিপরীত তড়িৎগ্রস্ত আয়নগুলি তীব্র তড়িৎ-আকর্ষণ দ্বারা পরস্পরের সঙ্গে দৃঢ়ভাবে আটকানো থাকে বলে আয়নীয় যৌগগুলি কঠিন হয়, যদিও ভঙ্গুর হতে পারে।

(3) অভিমুখ ঃ একটি আয়ন তার বিপরীত তড়িৎগ্রস্ত আয়নকে যে-কোনো দিক থেকেই আকর্ষণ করতে পারে। তাই আয়নীয় যোজ্যতার নির্দিষ্ট কোনো অভিমুখ নেই।

(4) তড়িৎ-পরিবাহিতা ঃ আয়নীয় যৌগ কঠিন অবস্থায় তড়িৎ পরিবহন করে না, কারণ কঠিন অবস্থায় NaCl-এর কেলাসের মধ্যে ক্যাটায়ন এবং অ্যানায়নগুলি পরস্পরের সঙ্গে তীব্র তড়িৎ আকর্ষণ বল দ্বারা দৃঢ়ভাবে আটকানো থাকে, তাই নড়াচড়া করতে পারে না। কিন্তু জলে দ্রবীভূত অবস্থায় বা গলিত অবস্থায় আয়নগুলির মধ্যে এই তড়িৎ-আকর্ষণ বল নষ্ট হয়ে যায় এবং অণুগুলি আয়নে বিয়োজিত হয়ে যায়, সেইজন্য তড়িৎ পরিবহন করে এবং রাসায়নিকভাবে বিশ্লিষ্ট হয়।



NaCl -এর কেলাস গঠন

(5) গলনাঙ্ক এবং স্ফুটনাঙ্ক ঃ তড়িৎযোজী যৌগ বিচ্ছিন্ন এবং স্বতন্ত্র অণুরূপে বর্তমান থাকে না—তড়িৎযোজী যৌগ হল আসলে অসংখ্য ক্যাটায়ন ও অ্যানায়নের সম্মিলিত রূপ। এই আয়নগুলিকে বিচ্ছিন্ন করতে প্রচুর তাপ শক্তির প্রয়োজন হয়। তাই আয়নীয় যৌগের গলনাঙ্ক এবং স্ফুটনাঙ্ক বেশি হয় এবং যৌগগুলি অপেক্ষাকৃত কম উদ্‌বায়ী হয়। যেমন, NaCl-এর গলনাঙ্ক 820°C এবং স্ফুটনাঙ্ক 1600°C।

(6) দ্রাব্যতা ঃ আয়নীয় যৌগগুলি সাধারণত **পোলার দ্রাবকে** (যেমন জল) **দ্রবীভূত হয়।** নন-পোলার দ্রাবক অর্থাৎ জৈব দ্রাবক, যেমন CCl_4, বেঞ্জিন, কার্বন ডাই-সালফাইড প্রভৃতি দ্রাবকে এরা সাধারণত দ্রবীভূত হয় না।

(7) বিশুদ্ধ আয়নীয় যৌগের **সমাবয়বতা ধর্ম** কখনও দেখা যায় না।

(8) সমাকৃতিত্ব (Isomorphism) **ঃ** একই ইলেকট্রন-বিন্যাসবিশিষ্ট বিভিন্ন আয়ন দ্বারা গঠিত আয়নীয় যৌগের মধ্যে সমাকৃতিত্ব ধর্ম দেখা যায়—অর্থাৎ বিভিন্ন আয়নীয় যৌগের উপাদান আয়নগুলির ইলেকট্রন-বিন্যাস একই রকম হলে তাদের কেলাস গঠনে একই রকমের হয়। দু-জোড়া এইরকম সমাকৃতি যৌগ হল (i) NaF ও MgO এবং (ii) $CaCl_2$ ও K_2S।

Cl^-	Ca^{++}	Cl	←—ইলেকট্রন বিন্যাস—→	K^+	S^{--}	K^+
2.8.8	2.8.8	2.8.8		2.8.8	2.8.8	2.8.8
ক্যালশিয়াম ক্লোরাইড				পটাশিয়াম সালফাইড		

(9) তড়িৎযোজী যৌগগুলির বিক্রিয়া আয়নের মাধ্যমে ঘটে। তাই আয়নীয় যৌগগুলির মধ্যে রাসায়নিক বিক্রিয়াগুলি দ্রুত সম্পন্ন হয়। যেমন, NaCl দ্রবণে $AgNO_3$ দ্রবণ যোগ করার সঙ্গে সঙ্গে AgCl অধঃক্ষিপ্ত হয়।

$$Na^+Cl^- + Ag^+NO_3^- \rightarrow AgCl\downarrow + Na^+NO_3^-$$

(b) সমযোজী যৌগের ধর্ম ঃ

(1) ভৌত অবস্থা ঃ সমযোজী যৌগগুলি সাধারণত একক অণু দ্বারা গঠিত হয়। একক অণু দ্বারা গঠিত হওয়ার ফলে সমযোজী বন্ধনে উৎপন্ন অণুগুলির পরস্পরের মধ্যে আকর্ষণ (আন্তরাণবিক আকর্ষণ বল) দুর্বল। অণুগুলির পরস্পরের মধ্যে আকর্ষণ বল দুর্বল হওয়ার জন্য বেশির ভাগ সমযোজী যৌগ, হয় গ্যাসীয় না হয় তরল (সাধারণ উষ্ণতায় ও চাপে)। সমযোজী যৌগের আণবিক গুরুত্ব বেশি হলে নরম ও কঠিন অবস্থায় থাকতে পারে। যেমন Cl_2 (আণবিক গুরুত্ব 71) সাধারণ অবস্থায় গ্যাস, Br_2 (আণবিক গুরুত্ব 160) একটি তরল, I_2 (আণবিক গুরুত্ব 254) একটি কঠিন পদার্থ।

(2) তড়িৎ পরিবাহিতা ঃ সমযোজী কঠিন পদার্থগুলি বিরাট আকারের অণু দ্বারা গঠিত। সেইজন্য আয়ন উৎপন্ন হয় না বা ওদের মধ্যে আলগা ইলেকট্রন থাকে না, তাই বেশির ভাগ সমযোজী যৌগ তড়িৎ পরিবহন করে না। (অবশ্য গ্রাফাইট সমযোজী কঠিন পদার্থ বিভিন্ন স্তর দ্বারা গঠিত হওয়ার জন্য ইলেকট্রনগুলি এক স্তর থেকে অন্য স্তরে চলাচল করতে পারে, বলে তড়িৎ পরিবহণ করে।) আবার কতকগুলি সমযোজী যৌগ যেমন, HCl জলীয় দ্রবণে আয়নে পরিণত হয়, ফলে এদের জলীয় দ্রবণ তড়িৎ পরিবহণ করে। তবে বেশির ভাগ সমযোজী যৌগ আয়নিত হয় না বলে তড়িৎপরিবহণ করে না।

(3) গলনাঙ্ক এবং স্ফুটনাঙ্ক ঃ কতকগুলি কঠিন সমযোজী পদার্থ যাদের অণুগুলির আকার বিরাট, (যেমন, হীরক, সিলিকন কার্বাইড ইত্যাদি)—এইগুলি ছাড়া, অন্যান্য সমযোজী কঠিন পদার্থের গলনাঙ্ক এবং স্ফুটনাঙ্ক আয়নীয় যৌগের চেয়ে অনেক কম। যেমন সমযোজী $SnCl_4$-এর স্ফুটনাঙ্ক = 58°C। **অপরদিকে আয়নীয় যৌগ NaCl-এর স্ফুটনাঙ্ক 1440°C**। এর কারণ হল, সমযোজী যৌগের অণুগুলির পরস্পরের মধ্যে আকর্ষণ অপেক্ষাকৃত দুর্বল, তাই একটি অণুকে অপর অণু থেকে বিচ্ছিন্ন করতে কম শক্তি লাগে। অণু-অণুর মধ্যে আকর্ষণ কম হওয়ার জন্য সমযোজী যৌগের গলনাঙ্ক এবং স্ফুটনাঙ্ক আয়নীয় যৌগের চেয়ে কম হয়।

(4) আণবিক বিক্রিয়া ঃ দ্রবণের মধ্যে সমযোজী যৌগ আয়নে বিয়োজিত না হয়ে আণবিক অবস্থায় বিক্রিয়া করে—অর্থাৎ দ্রবণে সমযোজী যৌগ এমন বিক্রিয়া করে যেখানে গোটা অণুটির পরিবর্তন ঘটে। তাই এই জাতীয় বিক্রিয়াগুলি **উভমুখী** এবং **সাধারণত ধীরগতিতে ঘটে** এবং বিক্রিয়ার সময় উষ্ণতা ও চাপের নিয়ন্ত্রণ দরকার হয়।

(5) দ্রাব্যতা ঃ বিরাট অণু দ্বারা গঠিত সমযোজী কঠিন যৌগগুলি ছাড়া অন্যান্য সমযোজী যৌগগুলি পোলার দ্রাবক যেমন জলে অদ্রাব্য, কিন্তু নন-পোলার দ্রাবক যেমন, C_6H_6, CCl_4 ইত্যাদির মধ্যে দ্রুত দ্রবীভূত হয়। বিরাট অণুবিশিষ্ট সমযোজী যৌগ সবরকম দ্রাবকেই অদ্রাব্য। এদের দ্রবীভূত হওয়ার অন্তরায় হল অণুগুলির বিরাট আকার। কতকগুলি সমযোজী পদার্থ যেমন **অ্যালকোহল, অ্যামিন, ফেনল, অ্যাসেটিক অ্যাসিড প্রভৃতি পোলার দ্রাবক জলে দ্রবীভূত হয়, কারণ ওদের অণুগুলি জলের অণুর সঙ্গে হাইড্রোজেন বন্ধন সৃষ্টি হওয়ার জন্য জলে দ্রবীভূত হয়।**

(6) স্থায়িত্ব ঃ সমযোজী যৌগের অণু যে যে পরমাণু দ্বারা গঠিত, সেই পরমাণুগুলির মধ্যে সমযোজী বন্ধন বেশ দৃঢ়। তাই সমযোজী যৌগের অণুগুলি খুব স্থায়ী অর্থাৎ সমযোজী যৌগগুলি স্থায়ী।

(7) বন্ধনের অভিমুখ ঃ প্রতিটি সমযোজী বন্ধনের নির্দিষ্ট অভিমুখ আছে। যেমন C পরমাণুর চারটি সমযোজ্যতার নির্দিষ্ট অভিমুখ আছে। বন্ধনের অভিমুখ থাকার জন্য সমযোজী যৌগের অণুগুলির নির্দিষ্ট ত্রিমাত্রিক জ্যামিতিক আকার আছে।

(8) সমাবয়বতা (Isomerism) ঃ যেহেতু সমযোজী বন্ধন দৃঢ় এবং অভিমুখ-বিশিষ্ট, তাই যৌগের মধ্যস্থ পরমাণুগুলির বিভিন্ন রকমের বিন্যাস হতে পারে। এর ফলে একটি সমযোজী যৌগের আণবিক সংকেত দ্বারা বিভিন্ন ধর্মবিশিষ্ট বিভিন্ন সমযোজী যৌগকে প্রকাশ করা যেতে পারে অর্থাৎ সমযোজী যৌগের সমাবয়বতা ধর্ম দেখা যায়। যেমন, C_2H_6O সংকেত দ্বারা ডাই মিথাইল ইথার এবং ইথানলকে প্রকাশ করা যায়।

● **তড়িৎযোজী বা আয়নীয় যৌগ এবং সমযোজী যৌগের ধর্মের তুলনা [Comparison of the properties of Ionic and covalent compounds]**

ধর্ম	তড়িৎযোজী বা আয়নীয় যৌগ	সমযোজী যৌগ
(1) ভৌত অবস্থা	(1) সাধারণ উষ্ণতায় কেলাসিত কঠিন পদার্থ। সাধারণ উষ্ণতায় ও চাপে এই জাতীয় যৌগ তরল বা গ্যাসীয় হয় না।	(1) বেশির ভাগ সমযোজী যৌগ তরল বা গ্যাসরূপে অবস্থান করে। যেসব সমযোজী যৌগের আণবিক গুরুত্ব বেশি তারা কঠিন হতে পারে।
(2) কাঠিন্য এবং ভঙ্গুরতা	(2) কঠিন ও ভঙ্গুর, কারণ অণুর মধ্যে ক্যাটায়ন এবং অ্যানায়নগুলি তীব্র তড়িৎ আকর্ষণ বল দ্বারা পরস্পরের সঙ্গে আবদ্ধ থাকে।	(2) কঠিন সমযোজী পদার্থগুলি নরম মোমের মতো, কারণ সমযোজী পদার্থের অণুগুলি সাধারণত এককভাবে অবস্থান করে এবং অণুগুলির পরস্পরের মধ্যে আকর্ষণ বল শিথিল হয়।
(3) কেলাস গঠন	(3) যৌগগুলির অণুতে প্রতিটি আয়ন তার বিপরীত তড়িৎগ্রস্ত আয়ন দ্বারা ঘেরা থাকে। এর ফলে যৌগগুলি ত্রিমাত্রিক জ্যামিতিক আকারবিশিষ্ট কঠিন কেলাস উৎপন্ন করে।	(3) সমযোজী কঠিনের কেলাসের গঠন দুই প্রকার ঃ (i) প্রথম প্রকার কেলাস হল বিরাট আকারের অণু দ্বারা গঠিত (ডায়মন্ড)। (ii) দ্বিতীয়, প্রকার কেলাস হল কতকগুলি পরপর সাজানো পরমাণুর স্তর দ্বারা গঠিত, যেমন গ্রাফাইট।
(4) সমাবয়বতা	(4) সমাবয়বতা ধর্ম দেখায় না।	(4) সমাবয়বতা ধর্ম দেখায়।
(5) রাসায়নিক বিক্রিয়ার প্রকৃতি	(5) দ্রবণের মধ্যে আয়নে বিয়োজিত হয়ে বিক্রিয়া করে বলে বিক্রিয়াটি একমুখী এবং দ্রুতগতিতে ঘটে।	(5) দ্রবণে আণবিক অবস্থায় বিক্রিয়া করে তাই বিক্রিয়াটি উভমুখী এবং বিক্রিয়া ধীর গতিতে হয়।
(6) গলনাঙ্ক এবং স্ফুটনাঙ্ক	(6) আয়নীয় যৌগের কঠিন অবস্থায় ক্যাটায়ন এবং অ্যানায়নগুলি পরস্পরের সঙ্গে তীব্র তড়িৎ আকর্ষণ বল দ্বারা দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ থাকে। তাই অণুগুলির পরস্পরের মধ্যে আকর্ষণ তীব্র। এই আকর্ষণ বল ভাঙার জন্য অনেক বেশি শক্তির (তাপ) দরকার। সেইজন্য এই জাতীয় যৌগের গলনাঙ্ক এবং স্ফুটনাঙ্ক অনেক বেশি।	(6) বিরাট অণু দ্বারা গঠিত সমযোজী কঠিন পদার্থ ছাড়া (হীরক, গ্রাফাইট), অন্যান্য সমযোজী পদার্থের গলনাঙ্ক আর স্ফুটনাঙ্ক কম হয়। কারণ সমযোজী পদার্থের অণু-অণুর মধ্যে আকর্ষণ দুর্বল।
(7) দ্রাব্যতা	(7) পোলার দ্রাবকে যেমন জলে সহজেই দ্রবীভূত হয়, নন-পোলার দ্রাবকে অদ্রাব্য বা স্বল্পদ্রাব্য।	(7) পোলার দ্রাবকে অদ্রাব্য—কিন্তু নন-পোলার দ্রাবকে সহজেই দ্রবীভূত হয়।
(8) তড়িৎ পরিবাহিতা	(8) কঠিন অবস্থায় তড়িতের কুপরিবাহী কিন্তু জলে দ্রবীভূত বা গলিত অবস্থায় আয়নে বিয়োজিত হয়ে তড়িৎ পরিবহন করে।	(8) বিরাট অণু দ্বারা গঠিত সমযোজী কঠিন পদার্থ তড়িতের কুপরিবাহী। আয়নে বিয়োজিত হয় না বলে সমযোজী পদার্থ তড়িৎ পরিবহন করে না। (HCl জলীয় দ্রবণ এবং গ্রাফাইট তড়িৎ পরিবহন করে)।

8.5 সমযোজী বন্ধনে ইলেকট্রন অষ্টক নিয়মের সীমাবদ্ধতা [Limitation of octet rule in covalent bonding]

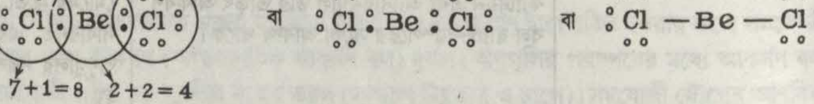
সমযোজী বন্ধনে আবদ্ধ পরমাণুগুলির সবচেয়ে বাইরের কক্ষটি ইলেকট্রন অষ্টক বিন্যাস লাভ করে অর্থাৎ, $ns^2\ ns^6$ বিন্যাস লাভ করে, একেই ইলেকট্রন অষ্টক নিয়ম বলে। H_2 অণু গঠনে 2টি H পরমাণু $1s^2$ বিন্যাস পায়। **কিন্তু অনেক সমযোজী যৌগ আছে যেগুলির মধ্যে 1টি পরমাণু, অন্য পরমাণুগুলির সঙ্গে সমযোজী বন্ধন দ্বারা যুক্ত থাকা সত্ত্বেও**

(i) পরমাণুটির যোজন কক্ষে আটটি ইলেকট্রনের চেয়ে কম সংখ্যক ইলেকট্রন উপস্থিত থাকে (অসম্পূর্ণ ইলেকট্রন অষ্টক) কিংবা

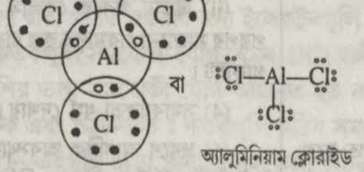
(ii) পরমাণুটির সবচেয়ে বাইরের কক্ষে 8টি ইলেকট্রনের চেয়ে বেশি সংখ্যক ইলেকট্রন উপস্থিত থাকে। সমযোজী বন্ধনে এই জাতীয় **অষ্টক নিয়মটির ব্যতিক্রম** দুইভাবে হয়—

(1) অসম্পূর্ণ ইলেকট্রন অষ্টক (incomplete election octet) **: $BeCl_2$, BF_3, NO** প্রভৃতি অণুগুলির সমযোজী বন্ধনে এই জাতীয় ব্যতিক্রম দেখা যায়।

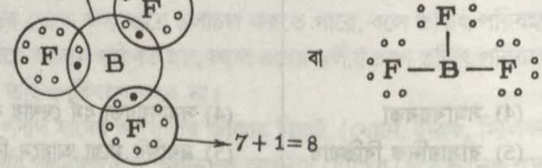
(i) $BeCl_2$ অণু : এই যৌগে বেরিলিয়াম পরমাণুটির সবচেয়ে বাইরের কক্ষে **8টি ইলেকট্রনের পরিবর্তে মাত্র 4টি ইলেকট্রন থাকে**—নিজের 2টি বাকি 2টি সমযোজ্যতা বন্ধনে যুক্ত Cl পরমাণুর।



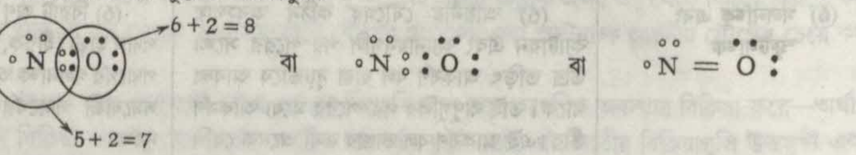
(ii) BF_3 এবং BCl_3 অণু : বোরন ট্রাই-ফ্লুওরাইড যৌগে বোরন পরমাণুটির বাইরের মুখ্যস্তরে ইলেকট্রন অষ্টকের পরিবর্তে **মাত্র 6টি ইলেকট্রন থাকে**—নিজের তিনটি এবং বাকি তিনটি সমযোজ্যতা বন্ধনে নিযুক্ত F পরমাণুর। BCl_3 বা $AlCl_3$ যৌগের ক্ষেত্রেও একই ঘটনা দেখা যায়।



অ্যালুমিনিয়াম ক্লোরাইড

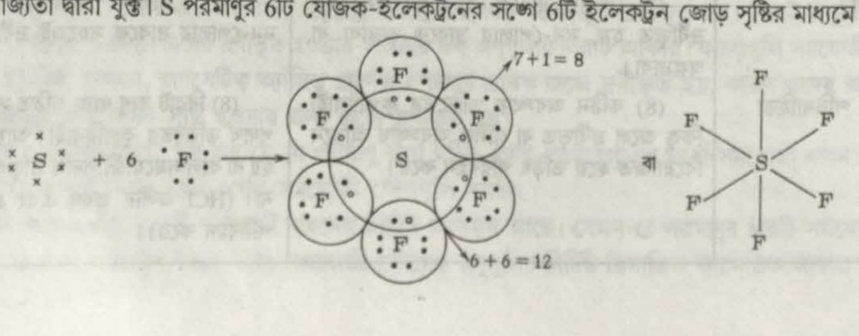


(iii) NO অণু : NO অণুর মধ্যে N পরমাণুর বাইরের কক্ষে ইলেকট্রন অষ্টকের পরিবর্তে মাত্র 7টি ইলেকট্রন থাকে—5টি নিজের এবং অপর দুটি হল সমযোজী বন্ধনে যুক্ত O পরমাণুর।



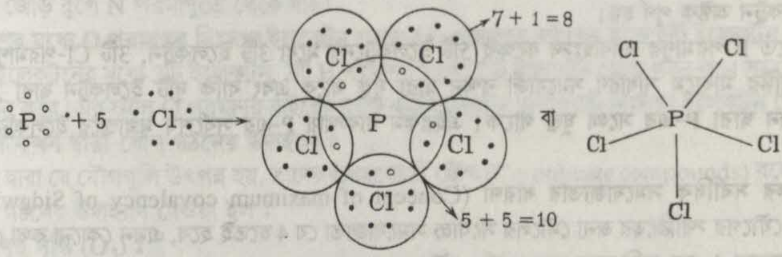
(2) ইলেকট্রন অষ্টকের প্রসারণ : SF_6, PCl_5, ICl_3, প্রভৃতি যৌগগুলির ক্ষেত্রে এইরকম ব্যতিক্রম দেখা যায়।

(i) সালফার হেক্সা-ফ্লুওরাইড, SF_6 : সালফার হেক্সা-ফ্লুওরাইড একটি সমযোজী যৌগ। একটি S পরমাণুর সঙ্গে 6টি F পরমাণু সমযোজ্যতা দ্বারা যুক্ত। S পরমাণুর 6টি যোজক-ইলেকট্রনের সঙ্গে 6টি ইলেকট্রন জোড় সৃষ্টির মাধ্যমে 6টি F পরমাণু

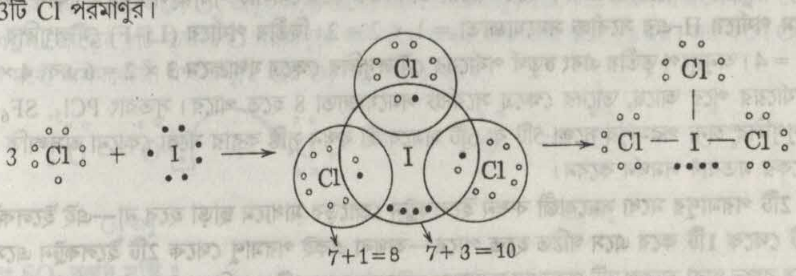


প্রত্যেকে নিজ নিজ সর্ববহিঃস্থ কক্ষে ইলেকট্রন অষ্টক লাভ করে বটে, কিন্তু S পরমাণুটির সবচেয়ে বাইরের কক্ষে ৪টির পরিবর্তে 12টি ইলেকট্রন থেকে যায়।

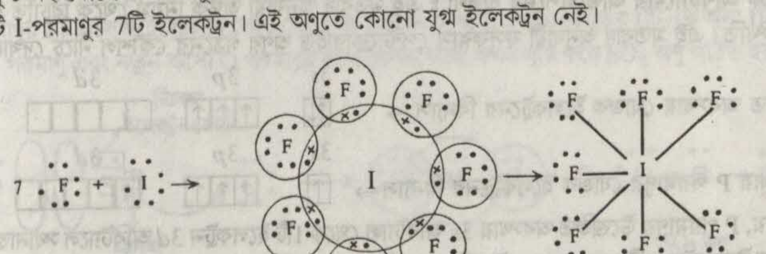
(ii) PCl_5 অণু ঃ PCl_5 সমযোজী যৌগ—এই যৌগে 1টি P পরমাণুর সবচেয়ে বাইরের কক্ষে 10টি ইলেকট্রন থাকে—নিজের 5টি এবং বাকি 5টি হল সমযোজ্যতা দ্বারা যুক্ত 5টি Cl পরমাণুর।



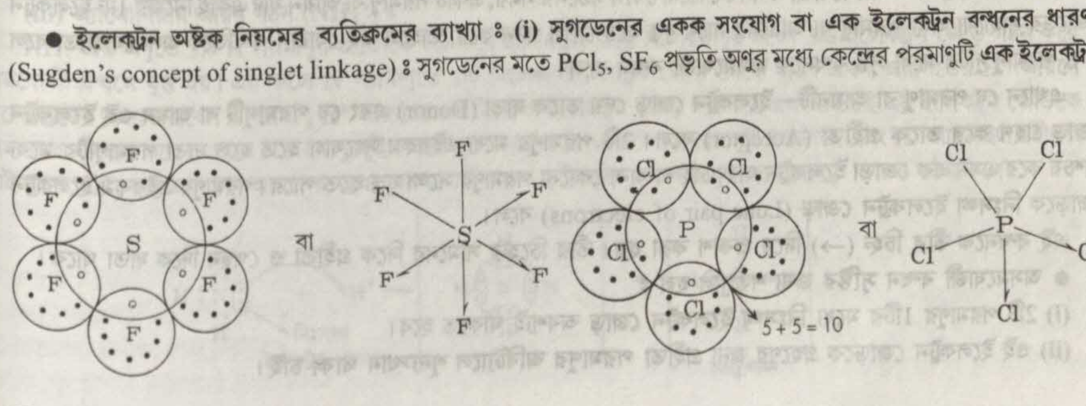
(iii) ICl_3 অণু ঃ এই যৌগে I পরমাণুর সবচেয়ে বাইরের কক্ষে 10টি ইলেকট্রন থাকে—নিজের 7টি এবং বাকি সমযোজ্যতা বন্ধনে আবদ্ধ 3টি Cl পরমাণুর।



(iv) IF_7 অণু ঃ এই যৌগে I পরমাণুর বাইরের কক্ষে মোট 14টি ইলেকট্রন বর্তমান—নিজের 7টি এবং বাকি সমযোজ্যতা বন্ধনে আবদ্ধ 7টি I-পরমাণুর 7টি ইলেকট্রন। এই অণুতে কোনো যুগ্ম ইলেকট্রন নেই।



● **ইলেকট্রন অষ্টক নিয়মের ব্যতিক্রমের ব্যাখ্যা ঃ (i) সুগডেনের একক সংযোগ বা এক ইলেকট্রন বন্ধনের ধারণা** (Sugden's concept of singlet linkage) ঃ সুগডেনের মতে PCl_5, SF_6 প্রভৃতি অণুর মধ্যে কেন্দ্রের পরমাণুটি এক ইলেকট্রন



বন্ধনের মাধ্যমে নিজের সবচেয়ে বাইরের মুখ্যস্তরে ইলেকট্রন অষ্টক পূর্ণ করে। **তাঁর মতে এইসব ক্ষেত্রে দুটি পরমাণুর মধ্যে সমযোজী বন্ধন একটি ইলেকট্রনের মাধ্যমেও ঘটতে পারে।** এই ঘটনাকে তিনি বলেন **একক সংযোগ বা এক-ইলেকট্রন বন্ধন।** তিনি দেখান যে, SF_6 অণুর মধ্যে S পরমাণুর সঙ্গে 2টি F পরমাণু 2টি ইলেকট্রন জোড় সৃষ্টি করে সাধারণ সমযোজী বন্ধন দ্বারা যুক্ত থাকে, বাকি 4টি F পরমাণু S পরমাণুর সঙ্গে এক-ইলেকট্রন বন্ধন দ্বারা যুক্ত থাকে। এইরকম ব্যবস্থায় S-পরমাণুর সবচেয়ে বাইরের কক্ষে ইলেকট্রন অষ্টক পূর্ণ হয়।

PCl_5-এর অণুতে P পরমাণুর সর্ববহিঃস্থ কক্ষের 5টি ইলেকট্রনের মধ্যে 3টি ইলেকট্রন, 3টি Cl-পরমাণুর সঙ্গে তিনটি ইলেকট্রন জোড় সৃষ্টির মাধ্যমে সাধারণ সমযোজী বন্ধন দ্বারা যুক্ত থাকে এবং বাকি দুটি ইলেকট্রন দ্বারা 2টি Cl পরমাণু **এক-ইলেকট্রন বন্ধন দ্বারা P-এর সঙ্গে যুক্ত থাকে।** এইরকম ব্যবস্থায় P-এর সর্বশেষ মুখ্যস্তরে ইলেকট্রন অষ্টক সম্পূর্ণ হয়।

(ii) সিজউইকের সর্বাধিক সমযোজ্যতার ধারণা (Concept of maximum covalency of Sidgwick) **ঃ বিজ্ঞানী সিজউইকের মতে,** যৌগের স্থায়িত্বের জন্য মৌলের সর্বোচ্চ সমযোজ্যতা যে 4 হতেই হবে, এমন কোনো কথা নেই। তাঁর মতে, 1টি মৌলের সমযোজ্যতা 4-এর বেশি হতে পারে অর্থাৎ মৌলের যোজন কক্ষের পরমাণুর সংখ্যা 8-এর বেশি হতে পারে। তাঁর মতে, কোনো মৌলের **সর্বোচ্চ সমযোজ্যতা কত হতে পারে, তা নির্ভর করে মৌলটি পর্যায়-সারণীতে কোন পর্যায়ে আছে তার উপর।** যেমন, **প্রথম পর্যায়ে** H-**এর সর্বোচ্চ সমযোজ্যতা** $= 1 \times 2 = 2$। **দ্বিতীয় পর্যায়ে** (Li–F) মৌলগুলির ক্ষেত্রে **সর্বোচ্চ সমযোজ্যতা** $2 \times 2 = 4$। অনুরূপে **তৃতীয় এবং চতুর্থ** পর্যায়ের **মৌলগুলির ক্ষেত্রে যথাক্রমে** $3 \times 2 = 6$ এবং $4 \times 2 = 8$। যেসব মৌলগুলি চতুর্থ পর্যায়ের পরে আছে, তাদের ক্ষেত্রে সর্বোচ্চ সমযোজ্যতা 8 হতে পারে। সুতরাং PCl_5, SF_6 প্রভৃতি যৌগে P, S প্রভৃতি পরমাণুগুলির অন্য পরমাণুর সঙ্গে 5টি বা 6টি সমযোজী বন্ধন সৃষ্টি করার মধ্যে কোনো অসঙ্গতি নেই। আধুনিক বিজ্ঞানীরা সিজউইকের মতবাদ সমর্থন করেন।

আধুনিক মতে, **2টি পরমাণুর মধ্যে সমযোজী বন্ধন ইলেকট্রন জোড়ের মাধ্যমে ছাড়া হবে না—এই ইলেকট্রন জোড়, 2টি পরমাণুর প্রত্যেকটি থেকে 1টি করে এসে গঠিত হতে পারে—অথবা একই পরমাণু থেকে 2টি ইলেকট্রন এসেও গঠিত হতে পারে।** বিশেষ ক্ষেত্রে বন্ধন দ্বারা আবদ্ধ দুটি পরমাণুর সবচেয়ে বাইরের কক্ষে 8টির বেশি বা কম সংখ্যক ইলেকট্রন থাকতে পারে।

(iii) পারমাণবিক অর্বিট্যালের অভিলেপনের ধারণা ঃ এই মতবাদ অনুযায়ী অষ্টক নিয়ম থেকে বিচ্যুতি হওয়ার কারণ হল *d* অর্বিট্যালের উপস্থিতি। এই মতবাদ অনুযায়ী ফসফরাস পেন্টাক্লোরাইড অণুর গঠনের কৌশল নীচে দেখানো হল—

	3*s*	3*p*	3*d*
P পরমাণুর স্থিত অবস্থায় যোজক ইলেকট্রনের বিন্যাস →	[↑↓]	[↑][↑][↑]	[ ][ ][ ][ ][ ]
উত্তেজিত অবস্থায় P পরমাণুর যোজক ইলেকট্রনের বিন্যাস →	[↑]	[↑][↑][↑]	[↑][ ][ ][ ][ ]

সুতরাং দেখা যায়, P পরমাণুর উত্তেজিত অবস্থায় 3*s* অর্বিট্যাল থেকে 1টি ইলেকট্রন 3*d* অর্বিট্যালে স্থানান্তরিত হয়ে যোজন কক্ষে মোট 5টি অযুগ্ম ইলেকট্রন সৃষ্টি করে। ফলে এই 5টি অযুগ্ম ইলেকট্রন 5টি সমযোজী বন্ধন গঠন দ্বারা PCl_5 অণুর সৃষ্টি করে।

● **অসমযোজ্যতা ও অসমযোজী বন্ধন ঃ** কোনো যৌগ গঠনের সময়, একটি পরমাণু বা আয়ন যদি একাই নিজের 1টি ইলেকট্রন জোড়ের সাহায্যে অন্য পরমাণু বা আয়নের সাথে যুক্ত হয়ে যৌগ গঠন করে, তাহলে এই যোজন পদ্ধতিকে **অসমযোজ্যতা** বলে এবং পরমাণু দুটির মধ্যে সৃষ্ট বন্ধনকে **অসমযোজী বন্ধন** বলে।

এখানে যে পরমাণু বা আয়নটি—ইলেকট্রন জোড় দেয় তাকে দাতা (Donor) **এবং যে পরমাণুটি বা আয়ন ওই ইলেকট্রন জোড় গ্রহণ করে তাকে গ্রহীতা** (Acceptor) **বলে।** 2টি পরমাণুর মধ্যে এইরকম সংযোগ হতে হলে দাতা পরমাণুটির মধ্যে নিশ্চয় করে এমন এক জোড়া ইলেকট্রন থাকা চাই যা অন্য কোনো পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত হতে পারে। পরমাণুর এইরকম ইলেকট্রন জোড়কে **নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন জোড়** (Lone pair of electrons) বলে।

এই বন্ধনকে তীর চিহ্ন (→) দিয়ে প্রকাশ করা হয়। তীর চিহ্নের সামনের দিকে গ্রহীতা ও পেছন দিকে দাতা থাকে।

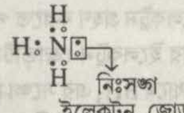
● **অসমযোজী বন্ধন সৃষ্টির জন্য শর্তগুলি হল ঃ**

(i) 2টি পরমাণুর 1টির মধ্যে **নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন জোড়** অবশ্যই থাকতে হবে।

(ii) ওই ইলেকট্রন জোড়কে গ্রহণের জন্য **গ্রহীতা পরমাণুর অর্বিট্যালে শূন্যস্থান থাকা চাই।**

নীচে অ্যামোনিয়া অণুর মধ্যস্থ পরমাণু নিঃসঙ্গা ইলেকট্রন জোড় দেখানো হল ঃ

(i) NH_3 অণুর মধ্যে N পরমাণুর নিঃসঙ্গা ইলেকট্রন জোড় ঃ N পরমাণুর বাইরের কক্ষে 5টি ইলেকট্রন থাকে। এই 5টির মধ্যে 3টি ইলেকট্রন, 3টি H পরমাণুর সঙ্গে 3টি ইলেকট্রন জোড় গঠন করে সমযোজ্যতা দ্বারা যুক্ত হয়ে NH_3 অণু উৎপন্ন করে। এর ফলে বাকি 2টি ইলেকট্রন অব্যাহত অবস্থায় নিঃসঙ্গা ইলেকট্রন জোড় রূপে N পরমাণুতে থেকে যায়।



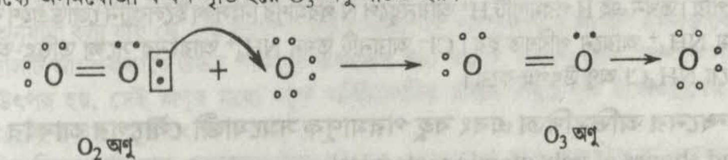
(ii) জলের অণুর মধ্যে O পরমাণুর নিঃসঙ্গা ইলেকট্রন জোড় ঃ O পরমাণুর বাইরের কক্ষে 6টি ইলেকট্রন থাকে। অক্সিজেন পরমাণুর এই 6টি ইলেকট্রনের মধ্যে 2টি ইলেকট্রন, 2টি H পরমাণুর সঙ্গে 2টি ইলেকট্রন জোড় গঠন করে সমযোজ্যতা দ্বারা যুক্ত হয়ে H_2O অণু গঠন করে। এর ফলে O পরমাণুর বাইরের কক্ষে 4টি ইলেকট্রন অর্থাৎ 2টি নিঃসঙ্গা ইলেকট্রন জোড় থেকে যায়।

● **অসমযোজী বন্ধন দ্বারা যৌগ গঠনের উদাহরণ ঃ**

অসমযোজ্যতা দ্বারা যে যৌগগুলি উৎপন্ন হয়, তাদের **অসমযোজী যৌগ** (Co-ordinate compounds) বলে। নীচে কয়েকটি অসমযোজী যৌগ গঠনের উদাহরণ দেওয়া হল ঃ

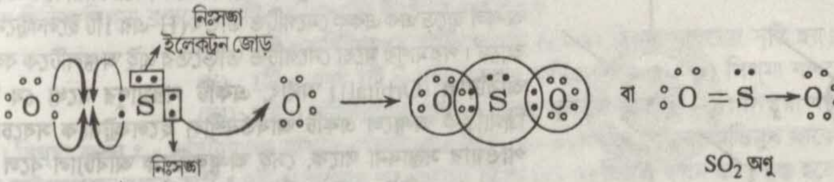
(i) ওজোন অণুর সৃষ্টি (O_3) ঃ

2টি অক্সিজেন পরমাণুর প্রত্যেকটি থেকে 2টি করে ইলেকট্রন এসে 2টি ইলেকট্রন জোড় গঠন করে সমযোজী বন্ধন দ্বারা পরস্পর যুক্ত হয়ে O_2 অণু গঠন করে, এর ফলে O_2 অণুর মধ্যে প্রত্যেকটি O পরমাণুর 2টি করে নিঃসঙ্গা ইলেকট্রন জোড় থেকে যায়। এই নিঃসঙ্গা ইলেকট্রন জোড়ের 1টি তৃতীয় O পরমাণুকে দান করে অসমযোজ্যতার দ্বারা যুক্ত হয়। এর ফলে O_2 অণু এবং নতুন আসা O পরমাণুর মধ্যে অসমযোজী বন্ধন সৃষ্টি হয়ে O_3 অণু গঠিত হয়।



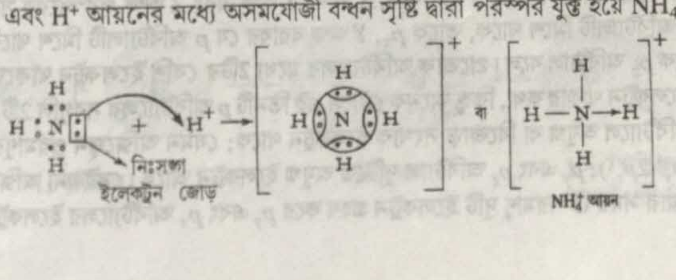
(ii) SO_2 এবং SO_3 অণুর সৃষ্টি ঃ

S পরমাণু প্রথমে 1টি O পরমাণুর সঙ্গে 2টি সমযোজী বন্ধন গঠন করে ইলেকট্রন অষ্টক পূর্ণ করে—এর ফলে SO উৎপন্ন হয়। SO-এর মধ্যে S পরমাণুর 2টি নিঃসঙ্গা ইলেকট্রন জোড় থেকে যায়। এই নিঃসঙ্গা ইলেকট্রন জোড়ের 1টি-কে অন্য 1টি O পরমাণুগ্রহীতা হিসাবে গ্রহণ করে S পরমাণু এবং নতুন আসা O পরমাণুর মধ্যে অসমযোজী বন্ধন সৃষ্টি করে SO_2 অণু গঠিত হয়।

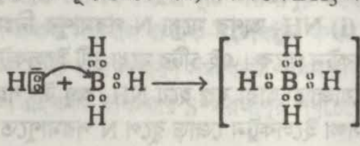


(iii) অ্যামোনিয়াম আয়ন গঠন (NH_4^+) ঃ

NH_3-এর অণুতে 3টি H পরমাণুর প্রত্যেকে 1টি করে ইলেকট্রন দিয়ে N পরমাণুর সঙ্গে 3টি ইলেকট্রন জোড় গঠন করে সমযোজী বন্ধনে যুক্ত হয়। এর ফলে N পরমাণুতে 1টি নিঃসঙ্গা ইলেকট্রন জোড় থেকে যায়। এখন অ্যাসিডের H^+ আয়নে ইলেকট্রনের অভাব থাকে। N পরমাণু H^+ আয়নকে ওই নিঃসঙ্গা ইলেকট্রন জোড় দান করে এবং উভয়ই এই ইলেকট্রন জোড়কে সমভাবে ব্যবহার করে। এখানে N পরমাণু **লুইস ক্ষার** রূপে কাজ করে। এখানে N পরমাণুটি হল দাতা এবং H^+ আয়ন হল গ্রহীতা। এইভাবে NH_3 অণু এবং H^+ আয়নের মধ্যে অসমযোজী বন্ধন সৃষ্টি দ্বারা পরস্পর যুক্ত হয়ে NH_4^+ আয়ন গঠন করে।

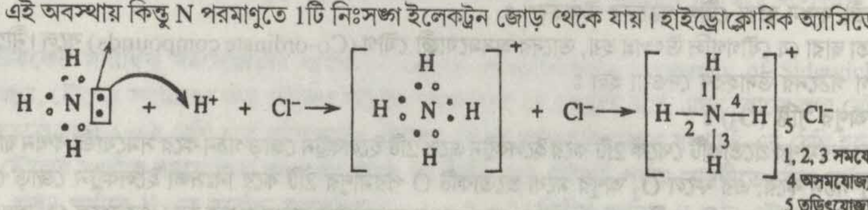


প্রসঙ্গত, BH_4^-আয়ন সৃষ্টির সময় দেখা যায়, BH_3 যৌগে B পরমাণুর একটি $2p$ কক্ষক শূন্য থেকে যায়, এর ফলে BH_3 অণুটি ইলেকট্রন গ্রহণ করতে পারে তাই লুইস অ্যাসিড রূপে কাজ করে। ফলে **H^- আয়ন** তার ইলেকট্রন জোড়টিকে বোরনের শূন্য $2p$ কক্ষকে দান করে অসমযোজ্যতার মাধ্যমে BH_3 এর সঙ্গে যুক্ত হয়ে BH_4^- আয়ন উৎপন্ন করে। এখানে H^- আয়ন দাতা এবং B পরমাণু গ্রহীতা।



(iv) অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড অণুর গঠন—আয়নীয় যোজ্যতা, সমযোজ্যতা এবং অসমযোজ্যতা—এই তিনটিই উপস্থিত এমন একটি যৌগের গঠন ঃ

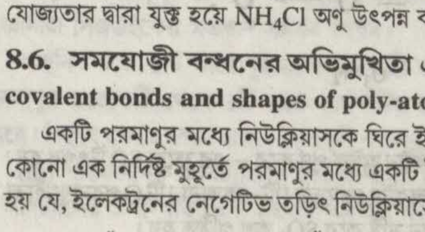
অ্যামোনিয়ায় 3টি H পরমাণুর প্রত্যেকে **সমযোজী এক বন্ধন** দ্বারা N পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত আছে এবং N পরমাণুরও অষ্টক পূর্ণ আছে। এই অবস্থায় কিন্তু N পরমাণুতে 1টি নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন জোড় থেকে যায়। হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের Cl পরমাণুটি



তীব্র ইলেকট্রো-নেগেটিভ হওয়ায়, Cl পরমাণু ইলেকট্রন জোড়টিকে নিজের দিকে বেশি করে টেনে নেয়, ফলে H পরমাণুটি আংশিক পজিটিভ চার্জ পায়। তখন এই H পরমাণুটি H^+ আয়নরূপে N পরমাণুর নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন জোড় গ্রহণ করে **অসমযোজ্যতার সৃষ্টি** করে অ্যামোনিয়াম NH_4^+ আয়নে পরিণত হয়। Cl^- আয়নটি তখন NH_4^+ আয়নের সঙ্গে তড়িৎ-আকর্ষণ অর্থাৎ তড়িৎ যোজ্যতার দ্বারা যুক্ত হয়ে NH_4Cl অণু উৎপন্ন করে।

8.6. সমযোজী বন্ধনের অভিমুখিতা এবং বহু পরমাণুক সমযোজী যৌগের আকার [Directionality of covalent bonds and shapes of poly-atomic molecules]

একটি পরমাণুর মধ্যে নিউক্লিয়াসকে ঘিরে ইলেকট্রনগুলি প্রচণ্ড বেগে আবর্তন করে চলে। বিজ্ঞানী **হাইসেনবার্গ** বলেন যে কোনো এক নির্দিষ্ট মুহূর্তে পরমাণুর মধ্যে একটি ইলেকট্রনের সঠিক অবস্থান জানা কখনও সম্ভব নয়। তাই আজকাল মনে করা হয় যে, ইলেকট্রনের নেগেটিভ তড়িৎ নিউক্লিয়াসের চারিদিকে কোনো একটি চিহ্নিত অঞ্চলের মধ্যে মেঘের মতো ছড়িয়ে থাকে। যেমন হাইড্রোজেন পরমাণুর নিউক্লিয়াসকে ঘিরে চারিদিকে একটি গোলকাকার অঞ্চল জুড়ে এক একক নেগেটিভ তড়িৎ (H-এর 1টি ইলেকট্রনের জন্য) ছড়িয়ে আছে। পরমাণুর মধ্যে নেগেটিভ তড়িতের এই অঞ্চলটিকে বলা হয় **কক্ষক** বা **অর্বিট্যাল** (Orbital)। অর্থাৎ, **একটি পরমাণুর মধ্যে যে বিশেষ চিহ্নিত ত্রিমাত্রিক অঞ্চলে একটি আবর্তনশীল ইলেকট্রনকে সবচেয়ে বেশি করে পাওয়ার সম্ভাবনা থাকে, সেই অঞ্চলটিকে অর্বিট্যাল বলে।**



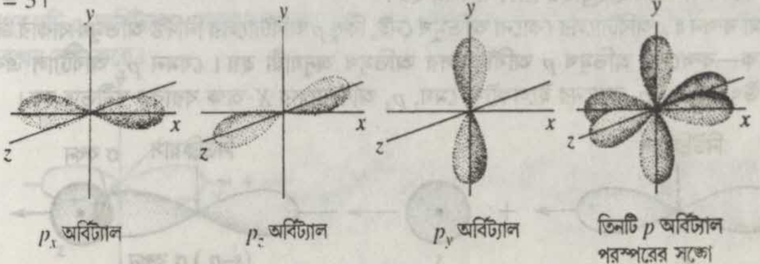
1s অর্বিট্যাল 2s অর্বিট্যাল

(a) একটি ইলেকট্রন অর্বিট্যালের আকার এবং আয়তন নির্ভর করে যে মুখ্য কক্ষে এবং উপকক্ষে ইলেকট্রনটি আবর্তন করে তার উপর। মুখ্য কক্ষের সংখ্যা যত বৃদ্ধি পায়, ওর মধ্যস্থ অর্বিট্যালের আয়তন তত বাড়তে থাকে। যেমন, **1s উপকক্ষের ইলেকট্রন অর্বিট্যালের চেয়ে 2s উপকক্ষের ইলেকট্রন অর্বিট্যাল বড়ো হবে।**

(b) যে-কোনো মুখ্যকক্ষের **s উপকক্ষের ইলেকট্রন অর্বিট্যাল নিউক্লিয়াসকে ঘিরে গোলকাকার** (Spherical) **হয়।**

(c) **p উপকক্ষের ইলেকট্রন অর্বিট্যাল ডাম্বেল আকারের** (Dumble shaped) **হয়। এই তিনটি p অর্বিট্যাল আবার তিনদিকে পরস্পরের সঙ্গে 90° কোণ করে অবস্থান করে।** ধরা যাক, X অক্ষ, Y অক্ষ এবং Z অক্ষ পরস্পরের সঙ্গে 90° কোণ করে আছে। X অক্ষ বরাবর যে p অর্বিট্যালটি মিশে থাকে, তাকে p_x, Y অক্ষ বরাবর যে p অর্বিট্যালটি মিশে থাকে, তাকে p_y এবং Z অক্ষ বরাবর যেটি থাকে, তাকে p_z অর্বিট্যাল বলে। **প্রত্যেক অর্বিট্যালের মধ্যে 2টির বেশি ইলেকট্রন থাকতে পারে না।** প্রত্যেক অর্বিট্যালের মধ্যে দুটি করে ইলেকট্রন থাকার কথা, কিন্তু অনেক মৌলে এই তিনটি p অর্বিট্যালের সবগুলি 2টি ইলেকট্রন দ্বারা ভর্তি থাকে না—কিছু সংখ্যক p অর্বিট্যালে অযুগ্ম বা বিজোড় সংখ্যক ইলেকট্রন থাকে; যেমন অক্সিজেন পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাসে দেখা যায় ($1s^2\ 2s^2\ 2p_x^2\ 2p_y^1\ 2p_z^1$); p_y এবং p_z অর্বিট্যাল দুটিতে অযুগ্ম ইলেকট্রন আছে। সেইজন্য অক্সিজেনের যোজ্যতা 2, অন্য মৌলের সঙ্গে যুক্ত হওয়ার সময় O পরমাণু দুটি ইলেকট্রন গ্রহণ করে p_y এবং p_x অর্বিট্যালের ইলেকট্রন-সংখ্যা পূর্ণ করে।

নাইট্রোজেনের ইলেকট্রন-বিন্যাসে দেখা যায় ($1s^2 2s^2 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1$) p অর্বিট্যালে তিনটি বিজোড় ইলেকট্রন আছে, সেইজন্য N-এর যোজ্যতা = 3।



(*d*) আগের আলোচনা থেকে দেখা গেছে যে, সমযোজ্যতা দ্বারা যুক্ত হওয়ার সময় দুটি পরমাণুর সবচেয়ে বাইরের মুখ্যস্তর থেকে একটি করে ইলেকট্রন এসে ইলেকট্রন জোড় সৃষ্টি করে—এই ইলেকট্রন জোড়ই পরমাণু দুটিকে সমযোজী বন্ধন দ্বারা আবদ্ধ রাখে। আধুনিক ধারণা অনুযায়ী এই ঘটনাকে অন্যভাবে বলা হয়—

দুটি পরমাণুর পরস্পরের সঙ্গে সমযোজ্যতা দ্বারা যুক্ত হওয়ার সময় ওদের কোনো কোনো ইলেকট্রন অর্বিট্যালের পরস্পরের মধ্যে আন্তঃনিউক্লিয় অক্ষ-বরাবর মুখোমুখি অভিলেপন (Overlapping) **ঘটে। অর্বিট্যাল দুটির পরস্পরের অভিলেপনের ফলে পরমাণু দুটির মধ্যে সমযোজী বন্ধনের সৃষ্টি হয়।**

বর্তমান ধারণা অনুযায়ী বলা যায় যে, দুটি পরমাণুর দুটি অর্বিট্যালের পরস্পরের মধ্যে যদি এমনভাবে অভিলেপন ঘটে যাতে উৎপন্ন নতুন অর্বিট্যালটি আংশিকভাবে উভয় পরমাণুর অঙ্গীভূত হয়, তাহলে পরমাণু দুটির বন্ধনকে সমযোজী বন্ধন বলা হয়। **এইভাবে যে অণু উৎপন্ন হয়, সেই অণুর মধ্যে নতুন অর্বিট্যালটির গঠনে নিযুক্ত দুটি ইলেকট্রনের ঘূর্ণন** (Spin) **অবশ্যই পরস্পরের বিপরীত দিকে হয়।** সুতরাং বলা যায়—

পরস্পর বিপরীত দিকে ঘূর্ণায়মান একজোড়া ইলেকট্রনের পরস্পরের মধ্যে আংশিক অভিলেপনের (Over-lapping) **ফলে সমযোজী বন্ধনের সৃষ্টি হয়। অভিলিপ্ত ক্ষেত্রের বিস্তার যত বেশি হয়, সমযোজী বন্ধন তত বেশি দৃঢ় হয়।**

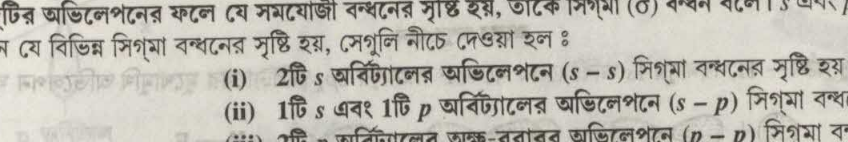
● **সিগ্‌মা (σ) বন্ধন এবং পাই (π) বন্ধন ঃ**

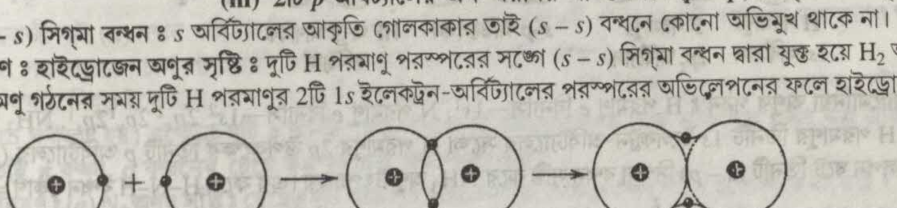
(1) সিগ্‌মা (σ) বন্ধন ঃ দুটি অর্বিট্যাল যখন উভয়ের আন্তঃনিউক্লিয় অক্ষ বরাবর পরস্পর মুখোমুখি অভিলিপ্ত হয়, তখন অর্বিট্যাল দুটির অভিলেপনের ফলে যে সমযোজী বন্ধনের সৃষ্টি হয়, তাকে সিগ্‌মা (σ) বন্ধন বলে। *s* এবং *p* অর্বিট্যালগুলির অভিলেপনে যে বিভিন্ন সিগ্‌মা বন্ধনের সৃষ্টি হয়, সেগুলি নীচে দেওয়া হল ঃ

(i) 2টি *s* অর্বিট্যালের অভিলেপনে (*s – s*) সিগ্‌মা বন্ধনের সৃষ্টি হয়।
(ii) 1টি *s* এবং 1টি *p* অর্বিট্যালের অভিলেপনে (*s – p*) সিগ্‌মা বন্ধনের সৃষ্টি হয়।
(iii) 2টি *p* অর্বিট্যালের অক্ষ-বরাবর অভিলেপনে (*p – p*) সিগ্‌মা বন্ধন সৃষ্টি হয়।

(i) (*s – s*) সিগ্‌মা বন্ধন ঃ *s* অর্বিট্যালের আকৃতি গোলকাকার তাই (*s – s*) বন্ধনে কোনো অভিমুখ থাকে না।

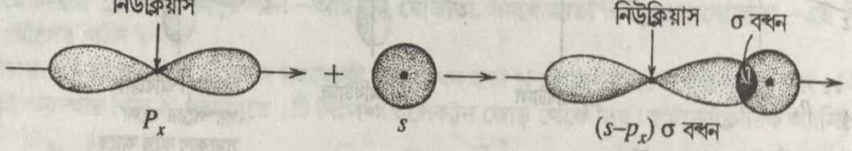
উদাহরণ ঃ হাইড্রোজেন অণুর সৃষ্টি ঃ দুটি H পরমাণু পরস্পরের সঙ্গে (*s – s*) সিগ্‌মা বন্ধন দ্বারা যুক্ত হয়ে H_2 অণু উৎপন্ন করে। **H_2 অণু গঠনের সময় দুটি H পরমাণুর 2টি 1*s* ইলেকট্রন-অর্বিট্যালের পরস্পরের অভিলেপনের ফলে হাইড্রোজেন অণুর**





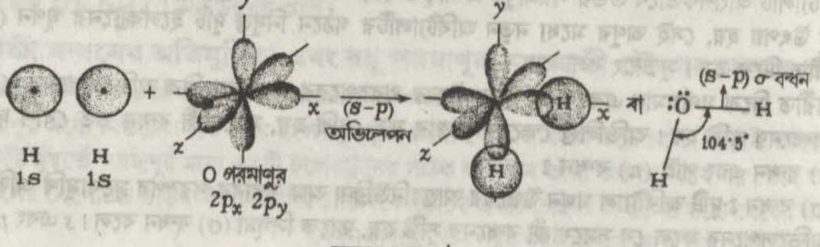
উৎপত্তি হয়। এইজন্য এই সমযোজী বন্ধনকে $(s-s)$ সিগ্‌মা বন্ধন বলে। অনুরূপে H পরমাণুর $1s$ অর্বিট্যালের সঙ্গে Li এর $2s$ অর্বিট্যালের অভিলেপনে **লিথিয়াম হাইড্রাইড LiH** উৎপন্ন হয়।

(ii) $(s-p)$ সিগ্‌মা বন্ধন ঃ s অর্বিট্যালের কোনো অভিমুখ নেই, কিন্তু p অর্বিট্যালের নির্দিষ্ট অভিমুখ থাকার জন্য **$s-p$ বন্ধনের নির্দিষ্ট অভিমুখ থাকে—বন্ধনের অভিমুখ p অর্বিট্যালের অভিমুখ অনুযায়ী হয়।** যেমন p_x অর্বিট্যাল এবং s অর্বিট্যালের অভিলেপনের ফলে উৎপন্ন $s-p_x$ বন্ধনের ইলেকট্রন-মেঘ, p_x অর্বিট্যালের X-অক্ষ বরাবর ঘনীভূত হয়।



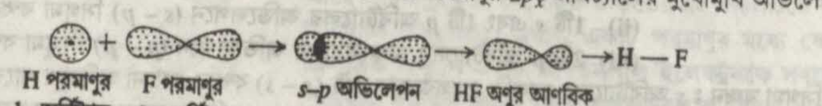
চিত্রে দেখা যায় $(s-p_x)$ সিগ্‌মা বন্ধনটি X-অক্ষ বরাবর গঠিত হয়েছে। অনুরূপে $(s-p_y)$ সিগমা বন্ধনটি Y অক্ষ বরাবর গঠিত হয় এবং $(s-p_z)$ σ বন্ধনটি Z-অক্ষ বরাবর গঠিত হয়। এক্ষেত্রে একটি পরমাণুর অর্ধপূর্ণ s অর্বিট্যালের সঙ্গে অপর একটি পরমাণুর আংশিক পূর্ণ p অর্বিট্যালের মুখোমুখী অভিলেপনের $s-p$ অভিলেপন ঘটে $s-p$ সিগমা বন্ধনের সৃষ্টি হয়।

উদাহরণ ঃ *(a)* জলের অণু গঠনের সময় 2টি H পরমাণুর $1s$ ইলেকট্রন অর্বিট্যালের সঙ্গে অক্সিজেন পরমাণুর 2টি $2p$ অর্বিট্যালের অভিলেপন ঘটে দুটি সমযোজী সিগ্‌মা বন্ধনের সৃষ্টি করে। এই বন্ধনকে $(s-p)$ সিগ্‌মা বন্ধন বলে। যেহেতু O পরমাণুর $2p_x$ এবং $2p_y$ অর্বিট্যালের সঙ্গে দুটি H অর্বিট্যালের অভিলেপনে H_2O অণু উৎপন্ন হয়, তাই H_2O অণু সরলরৈখিক হয় না—**ত্রিভুজাকৃতি হয়। H—O—H বন্ধন কোণ = 104·5°** হয়।

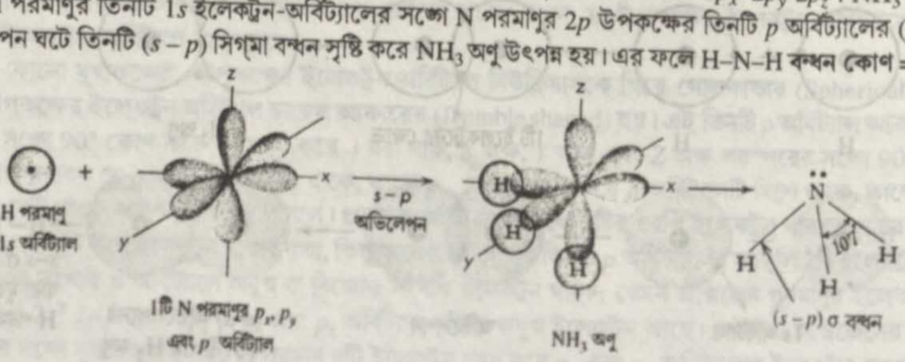


জলের অণুর গঠন

***(b)* HF অণু গঠন—** H পরমাণুর $1s$ অর্বিট্যালের সঙ্গে F পরমাণুর $2p_x$ অর্বিট্যালের মুখোমুখি অভিলেপন ঘটে।

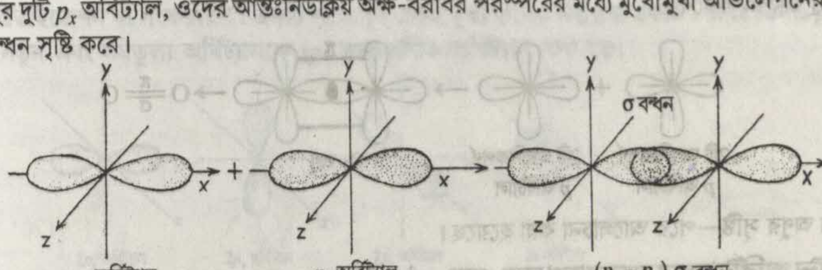


***(c)* অ্যামোনিয়া অণুর গঠন ঃ** H পরমাণু e বিন্যাস—$1s^1$, N পরমাণু e বিন্যাস—$1s^2\ 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1$. NH_3 অণু গঠনের সময় 3টি H পরমাণুর তিনটি $1s$ ইলেকট্রন-অর্বিট্যালের সঙ্গে N পরমাণুর $2p$ উপকক্ষের তিনটি p অর্বিট্যালের (p_x, p_y এবং p_z) অভিলেপন ঘটে তিনটি $(s-p)$ সিগ্‌মা বন্ধন সৃষ্টি করে NH_3 অণু উৎপন্ন হয়। এর ফলে **H–N–H বন্ধন কোণ = 107° হয়।**



(iii) $(p-p)$ σ বন্ধন ঃ p অর্বিট্যালের অভিমুখ থাকার জন্য দুটি p অর্বিট্যালের অভিলেপনের ফলে দুই রকম সমযোজী বন্ধন সৃষ্টি হয়, যেমন—

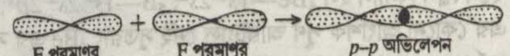
দুটি পরমাণুর দুটি p_x অর্বিট্যাল, ওদের আন্তঃনিউক্লিয় অক্ষ-বরাবর পরস্পরের মধ্যে মুখোমুখী অভিলেপনের ফলে সমযোজী $(p_x - p_x)$ σ বন্ধন সৃষ্টি করে।



p_x অর্বিট্যাল $\quad$ p_x অর্বিট্যাল $\quad$ $(p_x - p_x)$ σ বন্ধন

অনুরূপে দুটি p_y অর্বিট্যাল ওদের অক্ষ-বরাবর মুখোমুখী অভিলেপনের ফলে $(p_y - p_y)$ σ বন্ধন এবং দুটি p_z অর্বিট্যাল ওদের অক্ষ-বরাবর অভিলেপনের ফলে $(p_z - p_z)$ σ বন্ধন গঠিত হয়। এই রকম $(p-p)$ বন্ধনের ক্ষেত্রে p অর্বিট্যাল দুটির পরস্পরের অক্ষ বরাবর মুখোমুখী অভিলেপনের ফলে অভিলিপ্ত অর্বিট্যাল দুটির অক্ষ এক সরল রেখায় আসে, ফলে অনেকটা স্থান জুড়ে অভিলেপন ঘটে অর্থাৎ অভিলিপ্ত ক্ষেত্রের বিস্তার বেশি হয়। তাই উৎপন্ন $(p-p)$ সিগমা (σ) বন্ধনটি বেশি দৃঢ় এবং স্থায়ী হয়।

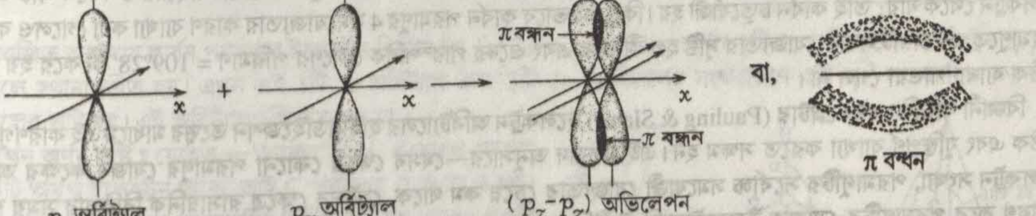
উদাহরণ ঃ (a) F_2 অণুর গঠন ঃ একটি F পরমাণুর $2p_x$ অর্বিট্যালের সঙ্গে অপর F পরমাণুর $2p_x$ অর্বিট্যালের মুখোমুখি অভিলেপনের ঘটে F_2 অণুর সৃষ্টি হয়।



F পরমাণুর $2p_z$ অর্বিট্যাল $\quad$ F পরমাণুর $2p_z$ অর্বিট্যাল $\quad$ p-p অভিলেপন F_2 অণু

অনুরূপে ক্লোরিন, ব্রোমিন প্রভৃতি অণুগুলি গঠিত হয়।

(2) পাই বন্ধন (π bond) ঃ দুটি পরমাণুর পরস্পর সমান্তরাল অক্ষবিশিষ্ট দুটি p অর্বিট্যালের পরস্পরের সঙ্গে পাশাপাশি অভিলেপনের ফলে অন্য একরকম সমযোজী বন্ধন উৎপন্ন করে। এইভাবে সৃষ্ট বন্ধনকে পাই π বন্ধন বলে।

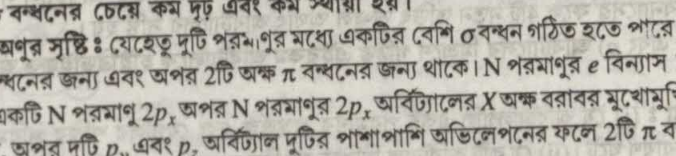


p_z অর্বিট্যাল $\quad$ p_z অর্বিট্যাল $\quad$ $(p_z - p_z)$ অভিলেপন

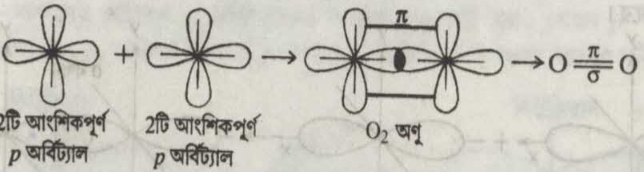
সমযোজী পাই (π) বন্ধন গঠনের চিত্র নীচে দেওয়া হল। এই চিত্রে **দুটি পরমাণুর দুটি পরস্পর সমান্তরাল অক্ষবিশিষ্ট p_z অর্বিট্যাল পরস্পরের সঙ্গে পাশাপাশি অভিলিপ্ত হয়ে π বন্ধন সৃষ্টি করেছে।**

এই বন্ধনে নিযুক্ত ইলেকট্রন-মেঘ, সমযোজী বন্ধনদ্বারা যুক্ত পরমাণু দুটির নিউক্লিয়াস যে তলে থাকে, সেই তলের ওপরে এবং নীচে ঘনীভূত হয়। **এক্ষেত্রে দুটি p অর্বিট্যালের পাশাপাশি অভিলেপনের ফলে অভিলিপ্ত ক্ষেত্র অল্প জায়গায় সীমাবদ্ধ থাকে তাই π বন্ধন, σ বন্ধনের চেয়ে কম দৃঢ় এবং কম স্থায়ী হয়।**

উদাহরণ ঃ (a) N_2 অণুর সৃষ্টি ঃ যেহেতু দুটি পরমাণুর মধ্যে একটির বেশি σ বন্ধন গঠিত হতে পারে না, তাই X, Y এবং Z অক্ষ বরাবর একটি অক্ষ σ বন্ধনের জন্য এবং অপর 2টি অক্ষ π বন্ধনের জন্য থাকে। N পরমাণুর e বিন্যাস $1s^2\, 2s^2\, 2p_x^{\,1}\, 2p_y^{\,1}\, 2p_z^{\,1}$। এখন N_2 অণুর গঠনে, একটি N পরমাণু $2p_x$ অপর N পরমাণুর $2p_x$ অর্বিট্যালের X অক্ষ বরাবর মুখোমুখি অভিলেপন ঘটে $(p-p)$ 1টি σ বন্ধনের সৃষ্টি হয়, অপর দুটি p_y এবং p_z অর্বিট্যাল দুটির পাশাপাশি অভিলেপনের ফলে 2টি π বন্ধনের সৃষ্টি হয়।



***(b)* অক্সিজেন অণুর সৃষ্টি ঃ** প্রতি অক্সিজেন পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাস হল $1s^2\ 2s^2\ 2p_x^2\ 2p_y^1\ 2p_z^1$. এখানে p_y^1 এবং p_z^1 অর্বিট্যালের 1টি করে অযুগ্ম ইলেকট্রন থাকে। তাই দুটি O-পরমাণু পরস্পরের সঙ্গে 1টি σ বন্ধন এবং 1টি π বন্ধন দ্বারা পরস্পর যুক্ত হয়ে O_2 অণু উৎপন্ন করবে।



(c) ইথিলিন অণুর সৃষ্টি—পরে আলোচনা করা হয়েছে।

8.7. ইলেকট্রন অর্বিট্যালের সংকরায়ণ তত্ত্ব এবং sp^3, sp^2 এবং sp সংকরায়ণ [Concept of hybridisation of atomic orbitals—sp^3, sp^2 and sp hybridisation]

আমরা দেখলাম পরমাণুর আংশিক পূর্ণ ইলেকট্রন অর্বিট্যালগুলির অভিলেপনের ফলেই সমযোজী বন্ধনের সৃষ্টি হয়। সুতরাং কোনো মৌলের সমযোজ্যতা মৌলটির পরমাণুর যোজন কক্ষের আংশিক পূর্ণ অর্বিট্যালের সংখ্যার সমান হওয়া উচিত। কিন্তু দেখা গেছে এই ধারণার সাহায্যে Be, B, এবং C-এর অনেক যৌগ গঠনের ব্যাখ্যা করা যায় না। Be, B এবং C পরমাণুর স্থিতাবস্থায় ইলেকট্রন বিন্যাস হল $_4$Be—$1s^2\ 2s^2$; $_5$B—$1s^2\ 2s^2\ 2p^1$, $_6$C— $1s^2\ 2s^2\ 2p^2$ কিন্তু যৌগ গঠনের আগের ধারণা অনুযায়ী $_4$Be এর কোনো আংশিক পূর্ণ অর্বিট্যাল নেই সুতরাং $_4$Be এর সমযোজ্যতা = 0 হওয়া উচিত। $_5$B এর $2p_x$ অর্বিট্যালে 1টি ইলেকট্রন বর্তমান সুতরাং $_5$B-এর সমযোজ্যতা এক এবং C-এর সমযোজ্যতা 2 হওয়া উচিত ছিল কিন্তু বাস্তবে দেখা যায় BeF_2 যৌগে Be এর সমযোজ্যতা 2, BF_3 যৌগে B-এর সমযোজ্যতা = 3 এবং CH_4, CCl_4, CO_2 যৌগগুলিতে C এর সমযোজ্যতা = 4

এর কারণ হিসাবে বলা হয় যে, রাসায়নিক বিক্রিয়ার সময় কার্বন পরমাণুর যোজক ইলেকট্রনগুলি শক্তি শোষণ করে উদ্দীপিত অবস্থায় আসে। **এই অবস্থায় 2s অর্বিট্যালের 2টি ইলেকট্রনের মধ্যে 1টি ইলেকট্রন $2p_z$ অর্বিট্যালে চলে যায়। এর ফলে কার্বন পরমাণুর ইলেকট্রন-বিন্যাস হয় $1s^2\ 2s^1\ 2p_x^1\ 2p_y^1\ 2p_z^1$।** এই অবস্থায় কার্বন পরমাণুর সবচেয়ে বাইরের উপকক্ষে 4টি অযুগ্ম ইলেকট্রন থেকে যায়; তাই কার্বন চতুর্যোজী হয়। কিন্তু এইভাবে কার্বন পরমাণুর 4 সমযোজ্যতার কারণ ব্যাখ্যা করা গেলেও কার্বন পরমাণুতে ওই চারটি সমান যোজ্যতার সৃষ্টি হল কী করে এবং ওদের পারস্পরিক কোণের পরিমাণ = 109°28' কী করে হয় তার সঠিক ব্যাখ্যা পাওয়া গেল না।

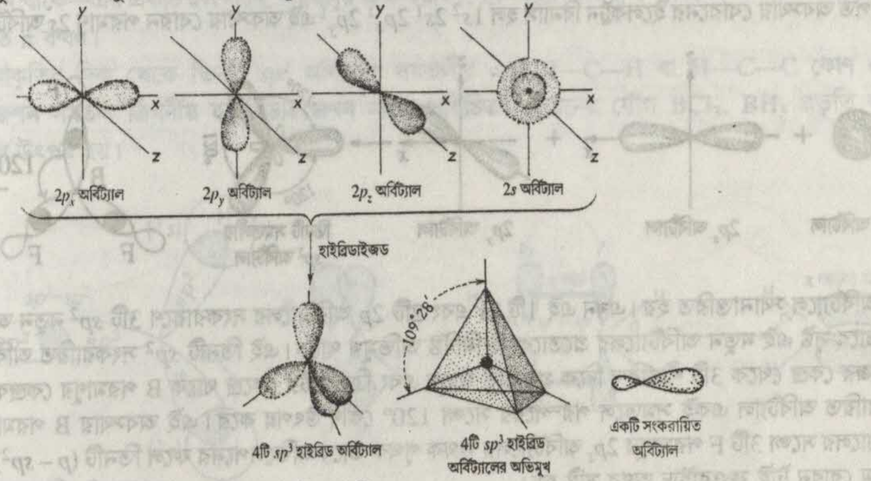
বিজ্ঞানী **পাউলিং এবং স্লেটার** (Pauling & Slater) **ইলেকট্রন অর্বিট্যালের হাইব্রিডাইজেশন তত্ত্বের** মাধ্যমে এই কারণগুলির সঠিক এবং যুক্তিপূর্ণ ব্যাখ্যা করতে সক্ষম হন। এই মতবাদ অনুসারে—**যেসব ক্ষেত্রে কোনো পরমাণুর যোজন কক্ষের অযুগ্ম ইলেকট্রন সংখ্যা, পরমাণুটির সর্বোচ্চ সমযোজী যোজ্যতার চেয়ে কম থাকে, সেইসব ক্ষেত্রে রাসায়নিক বিক্রিয়ার সময় শক্তি শোষণ করে পরমাণুটির যোজক ইলেকট্রনগুলি উদ্দীপিত হয়। এর ফলে যোজন-কক্ষের যুগ্ম ইলেকট্রনগুলির মধ্যে একটি ইলেকট্রন এই শক্তির প্রভাবে বিচ্ছিন্ন হয়ে পরের উচ্চতর শক্তিসম্পন্ন উপকক্ষে উঠে যায়। এই অবস্থায় অযুগ্ম-ইলেকট্রন যুক্ত অর্বিট্যালগুলি পরস্পরের সঙ্গে শক্তি বিনিময় করে সমশক্তিসম্পন্ন এবং সব দিক দিয়ে সমধর্মী হাইব্রিডাইজড বা সংকরায়িত অর্বিট্যাল সৃষ্টি করে।** যেমন, কার্বনের 2s অর্বিট্যালের 1টি ইলেকট্রন এবং 2p অর্বিট্যালের 3টি ইলেকট্রন পরস্পরের সঙ্গে শক্তি বিনিময় করে 4টি sp^3 (1টি s এবং 3টি p অর্বিট্যালের ইলেকট্রন) **সংকরায়িত অর্বিট্যাল সৃষ্টি** করে অর্থাৎ এই 4টি ইলেকট্রনের নতুন করে বিন্যাসের ফলে 4টি নতুন তড়িৎ অঞ্চল অর্থাৎ অর্বিট্যালের সৃষ্টি হয়।

দুটি ভিন্ন প্রকৃতির (s এবং p) **অর্বিট্যালের মিশ্রণে গঠিত এইরকম অর্বিট্যালকে হাইব্রিডাইজড অর্বিট্যাল বা 'সংকরায়িত কক্ষক' বলা হয়।**

সংকরায়ণের বৈশিষ্ট্য ঃ (i) যে অর্বিট্যালগুলি একই পরমাণুর অন্তর্ভুক্ত এবং যেগুলির শক্তির পরিমাণ প্রায় সমান—কেবল সেই অর্বিট্যালগুলির সংকরায়ণ ঘটে। (ii) যে কটি অর্বিট্যাল মিশ্রিত হয় ঠিক ততগুলি সংকরায়িত অর্বিট্যালের সৃষ্টি হয়। (iii) সব কটি আংশিক পূর্ণ অর্বিট্যালকেই যে সংকরায়ণে অংশ নিতে হবে তা ঠিক নয়। শক্তির সামান্য পার্থক্য বিশিষ্ট পূর্ণ অর্বিট্যাল সমগ্র সংকরায়ণে অংশ নিতে পারে। (iv) সংকরায়ণের প্রকার, উৎপন্ন অণুটির জ্যামিতিক গঠন প্রকাশ করে। (v) হাইব্রিড অর্বিট্যালগুলি সর্বদা সমতুল্য শক্তি এবং আকৃতি বিশিষ্ট হয়। (vi) হাইব্রিড অর্বিট্যালগুলি, বিশুদ্ধ পারমাণবিক অর্বিট্যালগুলির চেয়ে বন্ধন গঠনে বেশি কার্যকরী হয়।

s এবং p অর্বিট্যালগুলির বিভিন্ন প্রকার মিশ্রণে তিন রকম সংকরায়িত অর্বিট্যালের সৃষ্টি হয়। যথা—sp^3, sp^2 এবং sp সংকরায়িত অর্বিট্যাল।

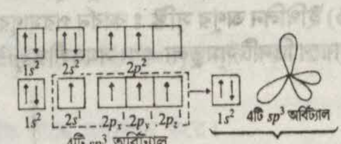
(1) sp^3 হাইব্রিডাইজেশন বা সংকরায়ণ ঃ একটি পরমাণুর একই মুখ্য স্তরের অন্তর্ভুক্ত একটি s এবং তিনটি p অর্বিট্যালের মিশ্রণে সৃষ্ট 4টি নতুন এবং সমতুল্য অর্বিট্যালকে sp^3 সংকরায়িত অর্বিট্যাল বলা হয়।



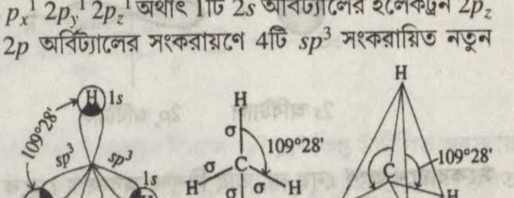
[I] sp^3 হাইব্রিডাইজেশন এবং মিথেন অণুর গঠনাকৃতি ঃ

কার্বন পরমাণুর স্থিত অবস্থায় ইলেকট্রন-বিন্যাস ⟶

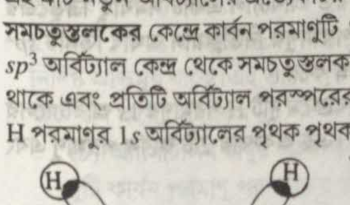
কার্বন পরমাণুর উত্তেজিত অবস্থায় ইলেকট্রন-বিন্যাস ⟶



উত্তেজিত অবস্থায় কার্বন পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাস হয় $1s^2\ 2s^1\ p_x^1\ 2p_y^1\ 2p_z^1$ অর্থাৎ 1টি $2s$ অর্বিট্যালের ইলেকট্রন $2p_z$ অর্বিট্যালে স্থানান্তরিত হয়। এখন এই 1টি $2s$ অর্বিট্যাল এবং 3টি $2p$ অর্বিট্যালের সংকরায়ণে 4টি sp^3 সংকরায়িত নতুন অর্বিট্যালের সৃষ্টি হয়। এই অর্বিট্যালগুলি সমতুল্য হয়।

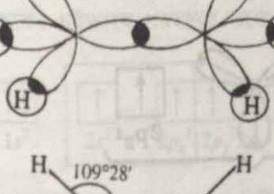


মিথেন অণুর সৃষ্টি ঃ যেহেতু sp^3 সংকরায়িত C পরমাণুর যোজন কক্ষে 4টি অযুগ্ম ইলেকট্রন থাকে, তাই C পরমাণুর যোজ্যতা 4 হয়। এই 4টি নতুন অর্বিট্যালের প্রত্যেকটির নির্দিষ্ট অভিমুখ থাকে। **একটি সমচতুস্তলকের** কেন্দ্রে কার্বন পরমাণুটি থাকলে, ওই চারটি সংকরায়িত sp^3 অর্বিট্যাল কেন্দ্র থেকে সমচতুস্তলকটির শীর্ষ বিন্দুর দিকে প্রসারিত থাকে এবং প্রতিটি অর্বিট্যাল পরস্পরের সঙ্গে 109°28′ কোণ উৎপন্ন করে। C-পরমাণুর এই চারটি sp^3 অর্বিট্যালের সঙ্গে 4টি H পরমাণুর $1s$ অর্বিট্যালের পৃথক পৃথক ভাবে অভিলেপনের ফলে 4টি (C – H) সিগমা বন্ধন সৃষ্টির মাধ্যমে মিথেন (CH_4) অণুর সৃষ্টি হয়। মিথেন অণুতে C – H বন্ধন দৈর্ঘ্য = 109 pm এবং H – C – H বন্ধন কোণ 109°28′।



অন্যান্য কয়েকটি অণু এবং আয়ন যেগুলি এইভাবে sp^3 সংকরায়ণের ফলে উৎপন্ন হয় এবং যেগুলির গঠন CH_4 অণুর মতো সমচতুস্তলকীয় হয়, তারা হল—কার্বন টেট্রা ক্লোরাইড (CCl_4), সিলিকন টেট্রাফ্লুওরাইড (SiH_4, NH_4^+, BF_4^- ইত্যাদি।

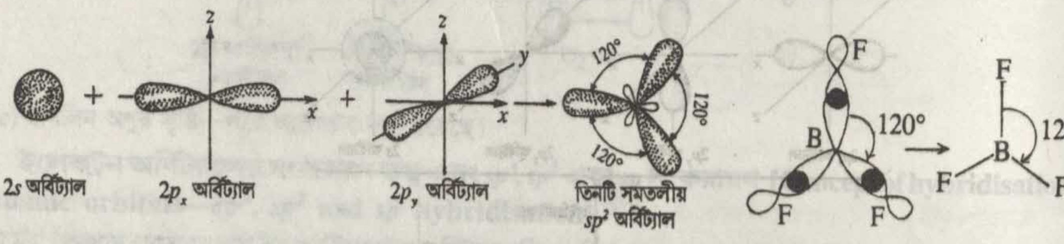
ইথেনের গঠন (C_2H_6) ঃ ইথেন অণুতে প্রতিটি C পরমাণুর sp^3 সংকরায়ণ ঘটে। একটি C পরমাণুর 4টি sp^3 অর্বিট্যালগুলির মধ্যে একটি C পরমাণুর 1টি sp^3 সংকরায়িত অর্বিট্যালের সঙ্গে অপর পরমাণুটির 1টি sp^3 সংকরায়িত অর্বিট্যালের অক্ষ বরাবর মুখোমুখি অভিলিপ্ত হয়ে C – C σ বন্ধন সৃষ্টি করে। উভয় C পরমাণুর অবশিষ্ট তিনটি সংকরায়িত অর্বিট্যালের সঙ্গে H পরমাণুর s অর্বিট্যালের অভিলেপন দ্বারা সৃষ্টি হয় C – H σ বন্ধন। ইথেনে C – C বন্ধন দৈর্ঘ্য = 154 pm এবং C – H বন্ধন দৈর্ঘ্য = 109 pm।



(2) sp^2 হাইব্রিডাইজেশন বা সংকরায়ণ ঃ একই মুখ্য স্তরের অন্তর্ভুক্ত একটি s এবং 2টি p অর্বিট্যালের মিশ্রণে সৃষ্ট তিনটি নতুন এবং সমতুল্য অর্বিট্যালকে sp^2 সংকরায়িত অর্বিট্যাল বলা হয়।

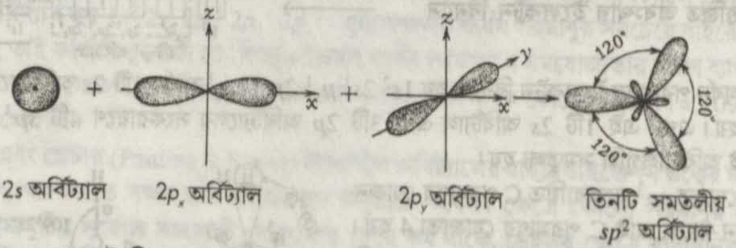
এইভাবে সৃষ্ট তিনটি সংকরায়িত অর্বিট্যাল একই সমতলে পরস্পরের সঙ্গে 120° কোণ উৎপন্ন করে অবস্থান করে।

উদাহরণ ঃ (*a*) বোরন ট্রাই ফ্লুওরাইড অণুর সৃষ্টি ঃ স্থিতাবস্থায় বোরনের **ইলেকট্রন বিন্যাস হল** $1s^2\ 2s^2\ 2p_x^{\ 1}$ কিন্তু উদ্দীপিত অবস্থায় বোরনের ইলেকট্রন বিন্যাস হল $1s^2\ 2s^1\ 2p_x^{\ 1}\ 2p_y^{\ 1}$ এই অবস্থায় বোরন পরমাণু $2s$ অর্বিট্যালের 1টি ইলেকট্রন



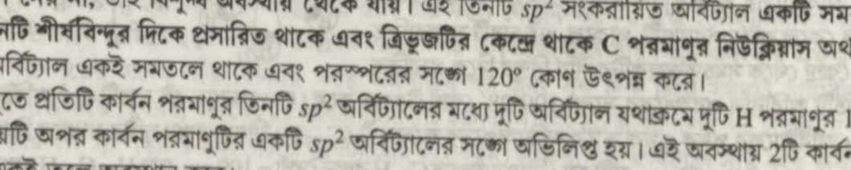
$2p_y$ অর্বিট্যালে স্থানান্তরিত হয়। এখন এই 1টি $2s$ এবং 2টি $2p$ অর্বিট্যালের সংকরায়ণে 3টি sp^2 নতুন অর্বিট্যালের সৃষ্টি হয়। এই ভাবে সৃষ্ট এই নতুন অর্বিট্যালের প্রত্যেকেরই নির্দিষ্ট অভিমুখ থাকে। এই তিনটি sp^2 সংকরায়িত অর্বিট্যাল একটি সমবাহু ত্রিভুজের কেন্দ্র থেকে 3টি শীর্ষবিন্দু দিকে প্রসারিত থাকে এবং ত্রিভুজটির কেন্দ্রে থাকে B পরমাণুর কেন্দ্রকটি। এই তিনটি sp^2 সংকরায়িত অর্বিট্যাল একই সমতলে পরস্পরের সঙ্গে 120° কোণ উৎপন্ন করে। এই অবস্থায় B পরমাণুর এই তিনটি sp^2 অর্বিট্যালের সঙ্গে 3টি F পরমাণুর $2p_z$ অর্বিট্যালের পৃথক পৃথক ভাবে অভিলেপনের ফলে তিনটি $(p - sp^2)$ সিগমা বন্ধন সৃষ্টির মাধ্যমে বোরন ট্রাই ফ্লুওরাইড অণুর সৃষ্টি হয়।

(*b*) ইথিলিন অণুর সৃষ্টি ঃ কার্বন পরমাণুর $2s$ অর্বিট্যালের সঙ্গে তিনটি $2p$ অর্বিট্যালের (p_x, p_y অথবা p_z) যে-কোনো দুটির সংকরায়ণে **তিনটি সমতুল্য** এবং **সমতলীয় sp^2 সংকরায়িত অর্বিট্যালের সৃষ্টি হয়। এই অবস্থায় C পরমাণুর একটি 2p অর্বিট্যাল,**



সংকরায়ণে অংশ নেয় না, তাই **বিশুদ্ধ অবস্থায় থেকে যায়।** এই তিনটি sp^2 সংকরায়িত অর্বিট্যাল **একটি সমবাহু ত্রিভুজের কেন্দ্র থেকে তিনটি শীর্ষবিন্দুর দিকে প্রসারিত থাকে এবং ত্রিভুজটির কেন্দ্রে থাকে C পরমাণুর নিউক্লিয়াস** অর্থাৎ তিনটি sp^2 হাইব্রিডাইজড অর্বিট্যাল একই সমতলে থাকে এবং পরস্পরের সঙ্গে 120° কোণ উৎপন্ন করে।

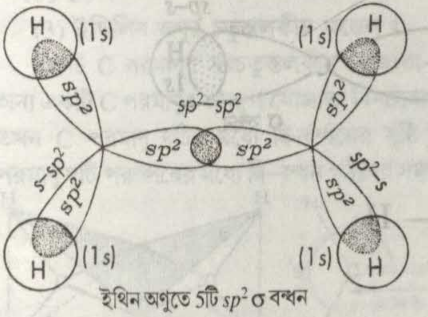
ইথিলিন অণুতে প্রতিটি কার্বন পরমাণুর তিনটি sp^2 অর্বিট্যালের মধ্যে দুটি অর্বিট্যাল যথাক্রমে দুটি H পরমাণুর $1s$ অর্বিট্যালের সঙ্গে এবং তৃতীয়টি অপর কার্বন পরমাণুটির একটি sp^2 অর্বিট্যালের সঙ্গে অভিলিপ্ত হয়। এই অবস্থায় 2টি কার্বন পরমাণু এবং 4টি H পরমাণু একই তলে অবস্থান করে।



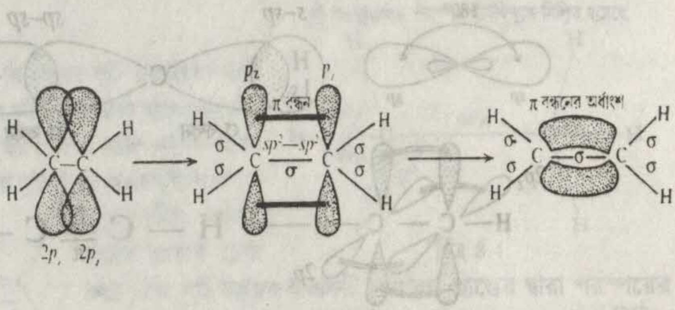
***π* বন্ধন সৃষ্টি ঃ** এইভাবে অভিলেপনের ফলে দুটি C পরমাণুর মধ্যে একটি sp^2—sp^2 সিগমা বন্ধন সৃষ্টি হওয়ার পরও প্রত্যেক কার্বন পরমাণুতে একটি করে বিশুদ্ধ p_z অর্বিট্যাল থেকে যায়। দুটি C পরমাণুর এই দুটি p_z অর্বিট্যাল, 2টি C এবং 4টি H পরমাণু

যে তলে অবস্থান করে, সেই তলের উপর লম্বভাবে পরস্পর সমান্তরাল অবস্থায় থাকে। এর ফলে p_z অর্বিট্যাল দুটির মধ্যে পাশাপাশি আংশিক অভিলেপন হয়। ডাম্বেল ০আকৃতির p_z অর্বিট্যাল দুটির এইভাবে পাশাপাশি অভিলেপনে ওই দুটি C পরমাণুর মধ্যে আরেকটি অপেক্ষাকৃত দুর্বল বন্ধনের সৃষ্টি হয়, একে π বন্ধন বলে। সুতরাং দেখা গেল ইথিলিন অণুর দুটি C পরমাণুর মধ্যে দুটি সমযোজী বন্ধন থাকে—এর একটি হল দুটি C পরমাণুর অক্ষ বরাবর, sp^2—sp^2 সিগ্‌মা বন্ধন এবং অন্যটি এই অক্ষের ওপর লম্বভাবে অবস্থিত π বন্ধন।

জ্যামিতিক আকৃতির দিক থেকে তিনটি sp^2 অর্বিট্যাল সমতলীয় এবং H—C—H বা H—C—C কোণ = 120° **sp^2 হাইব্রিডাইজেশন সমতল ত্রিগনীয় হাইব্রিডাইজেশন নামে পরিচিত।** বোরনের যৌগ BCl_3, BH_3 প্রভৃতি অণু sp^2 সংকরায়ণের ফলে উৎপন্ন হয়।

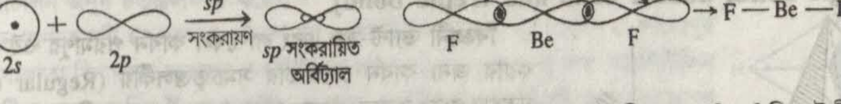


ইথিন অণুতে 5টি sp^2 σ বন্ধন



(3) sp সংকরায়ণ ঃ একই মুখ্য স্তরের অন্তর্ভুক্ত একটি s এবং একটি p অর্বিট্যালের মিশ্রণে সৃষ্ট দুটি নতুন এবং সমতুল্য অর্বিট্যালকে sp সংকরায়িত অর্বিট্যাল বলে।

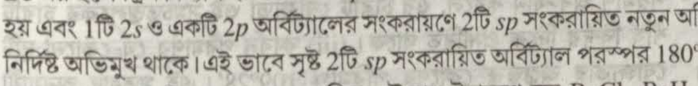
সংকরায়িত অর্বিট্যাল পরস্পর 180° কোণে একটি সরলরেখার দুই বিপরীত পার্শ্বে অবস্থান করে।



উদাহরণ ঃ (a) বেরিলিয়াম ফ্লুওরাইড অণু ঃ স্থিতাবস্থায় Be পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাস $1s^2\ 2s^2$ কিন্তু উদ্দীপিত অবস্থায় Be এর ইলেকট্রন বিন্যাস হয় $1s^2\ 2s^1\ 2p^1$ এই অবস্থায় Be পরমাণুর $2s$ অর্বিট্যালের 1টি ইলেকট্রন $2p_x$ অর্বিট্যালে স্থানান্তরিত হয় এবং 1টি $2s$ ও একটি $2p$ অর্বিট্যালের সংকরায়ণে 2টি sp সংকরায়িত নতুন অর্বিট্যালের সৃষ্টি হয়। এইভাবে সৃষ্ট দুটি অর্বিট্যালের নির্দিষ্ট অভিমুখ থাকে। এই ভাবে সৃষ্ট 2টি sp সংকরায়িত অর্বিট্যাল পরস্পর 180° কোণে একটি সরল রেখা দুই বিপরীত অভিমুখে অবস্থান করে। এইরকম sp সংকরায়িত যৌগের উদাহরণ হল $BeCl_2$ BeH_2 C_2H_2 ইত্যাদি।

(b) অ্যাসিটিলিন অণুর গঠনাকৃতি ঃ

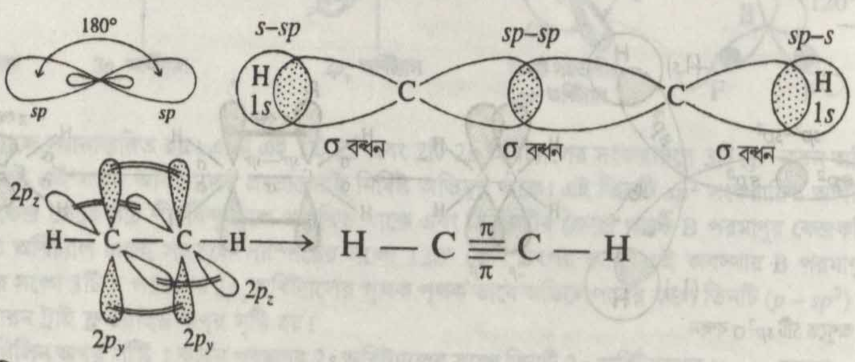
দুটি কার্বন পরমাণু পরস্পরের সঙ্গে এবং ওদের প্রত্যেকে একটি করে H পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত হয়ে অ্যাসিটিলিন অণু উৎপন্ন করে। এইভাবে পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত হওয়ার সময় উদ্দীপিত অবস্থায় কার্বন পরমাণুর **একটি $2s$ অর্বিট্যাল এবং একটি $2p$ অর্বিট্যালের হাইব্রিডাইজেশনের ফলে দুটি একই প্রকৃতির sp হাইব্রিডাইজড অর্বিট্যালের সৃষ্টি হয়। একটি s এবং একটি p অর্বিট্যাল এতে অংশ নেয় বলে এই হাইব্রিডাইজেশনকে**



sp হাইব্রিডাইজেশন বলে। দুটি একই প্রকৃতির অর্থাৎ সমতুল্য sp হাইব্রিড অর্বিট্যাল পরস্পর 180° কোণে একটি সরলরেখায় দুই বিপরীত অভিমুখে অবস্থান করে। কার্বন পরমাণুর মধ্যে sp হাইব্রিডাইজেশন যে দুটি $2p$ অর্বিট্যাল অংশ নেয়নি, তারা প্রত্যেকে অবিকৃত অবস্থায় sp হাইব্রিড অর্বিট্যালের সঙ্গে সমকোণে অবস্থান করে। প্রতিটি $2p$ অর্বিট্যালে একটি করে ইলেকট্রন থাকে।

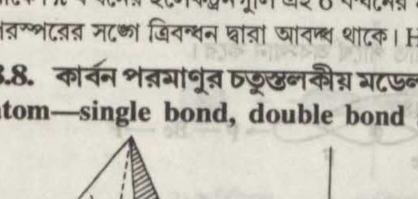
অ্যাসিটিলিনে 2টি কার্বন পরমাণুর *sp* হাইব্রিড অর্বিট্যালের মুখোমুখি অভিলেপনের ফলে C—C সিগ্‌মা (σ) বন্ধনের সৃষ্টি হয় এবং উভয় কার্বন পরমাণুর প্রত্যেকের বাকি একটি *sp* হাইব্রিড অর্বিট্যালের সঙ্গে একটি করে হাইড্রোজেন পরমাণুর 1*s* অর্বিট্যালের অভিলেপন হয়, ফলে একটি করে মোট 2টি C—H সিগ্‌মা বন্ধনের সৃষ্টি হয়। এর ফলে দুটি C পরমাণু এবং দুটি H পরমাণু **একই সমতলীয় সরলরেখায় অবস্থান করে।**

π বন্ধন সৃষ্টি ঃ দুটি কার্বন পরমাণুর প্রত্যেকটিতে 1টি $2p_y$ এবং 1টি $2p_z$ অর্বিট্যাল পরস্পরের সঙ্গে সমকোণে অবস্থান করে। 2টি কার্বন পরমাণুর দুটি $2p_y$ এবং দুটি $2p_z$ পরস্পরের সমান্তরাল থাকে বলে ওদের অর্থাৎ একটির $2p_y$ এর সঙ্গে অপরটির $2p_y$ এবং একটির $2p_z$ এর সঙ্গে অপরটির $2p_z$ অর্বিট্যালের পাশাপাশি অভিলেপনের ফলে দুটি কার্বন পরমাণুর মধ্যে দুটি পাই π বন্ধনের সৃষ্টি হয়। এই দুটি π বন্ধন *Y* এবং *Z* তলে উৎপন্ন হয়। এর ফলে দুটি C পরমাণুর মধ্যে একটি σ বন্ধন এবং দুটি



π বন্ধনের সৃষ্টি হয়। সুতরাং দেখা গেল, অ্যাসিটিলিন অণুর মধ্যে তিনটি সিগ্‌মা (σ) বন্ধন এবং দুটি দুর্বল পাই (π) বন্ধন বর্তমান থাকে। π বন্ধনের ইলেকট্রনগুলি এই σ বন্ধনের মূল কাঠামোকে বেষ্টন করে থাকে। অ্যাসিটিলিন অণুর মধ্যে দুটি কার্বন পরমাণু পরস্পরের সঙ্গে ত্রিবন্ধন দ্বারা আবদ্ধ থাকে। H—C—C বন্ধন কোণের পরিমাণ 180°।

8.8. কার্বন পরমাণুর চতুস্তলকীয় মডেল একবন্ধন, দ্বিবন্ধন ও ত্রিবন্ধন [Tetrahedrol model of carbon atom—single bond, double bond and treple bond]

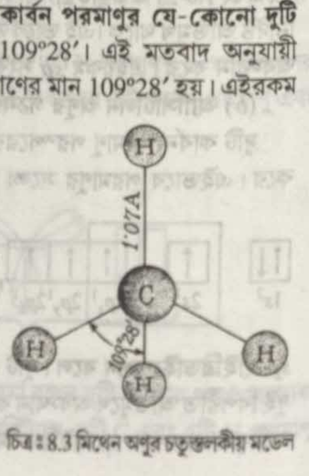


চিত্র ঃ 8.2 কার্বন যোজ্যতার চতুস্তলক মডেল

বিজ্ঞানী ভ্যান্ট-হফ এবং **লা-বেল** কার্বন পরমাণুর ওই ধর্মগুলি ব্যাখ্যা করার জন্য কার্বন যোজ্যতার সমচতুস্তলকীয় (Regular tetrahedron) মতবাদ প্রচার করেন। তাঁদের মতে (i) **কার্বনের চারটি যোজ্যতা কখনোই এক সমতলে থাকে না।** (ii) **একটি কাল্পনিক সমচতুস্তলকের কেন্দ্রে কার্বন পরমাণু অবস্থান করলে, ওর চারটি যোজ্যতা ওই সমচতুস্তলকের চারটি শীর্ষ বিন্দুর দিকে প্রসারিত থাকে।** (iii) **কার্বন পরমাণুর যে-কোনো দুটি যোজ্যতার অন্তর্ভুক্ত কোণের পরিমাপ** 109°28′। এই মতবাদ অনুযায়ী কার্বন পরমাণুর চারটি যোজ্যতা ত্রি-দিকে এমনভাবে বিন্যস্ত থাকে যে, তাদের অর্ন্তযোজক কোণের মান 109°28′ হয়। এইরকম বিন্যাসের ফলে সমযোজী বন্ধন সৃষ্টিকারী ইলেকট্রন জোড়গুলি পরস্পর থেকে সর্বোচ্চ দূরে অবস্থান করে। এই অবস্থায় ইলেকট্রন জোড়গুলির মধ্যে পরস্পরের প্রতি বিকর্ষণ বল সবচেয়ে কম হয়, সেজন্য যৌগগুলি বেশি সুস্থিত হয়।

(1) চতুস্তলকীয় মডেল অনুযায়ী মিথেন অণুর গঠন ঃ

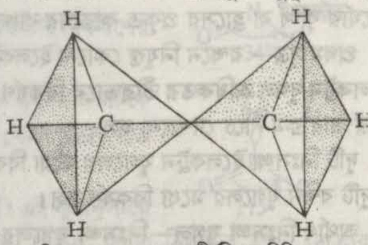
একটি কার্বন পরমাণুর চারটি যোজ্যতা যখন চারটি হাইড্রোজেন পরমণুর সঙ্গে যুক্ত হয়। তখন তৈরি হয় মিথেন [CH_4] অণু। এই অণুর মধ্যে চারটি সমযোজী বন্ধন (C—H) আছে। **অণুটির আকার ত্রিমাত্রিক এবং সমচতুস্তলকের মতো।** এই সমচতুস্তলকের কেন্দ্রে থাকে C পরমাণুর নিউক্লিয়াস এবং চারটি শীর্ষ বিন্দুতে থাকে চারটি H পরমাণুর নিউক্লিয়াস। **কার্বন পরমাণুর নিউক্লিয়াস থেকে H পরমাণুর নিউক্লিয়াসের দূরত্বকে C—H বন্ধন দৈর্ঘ্য বলে। এই বন্ধন দৈর্ঘ্যের মান** = 1·07Å। মিথেন অণুতে প্রতিটি H—C—H বন্ধন কোণ = 109°28′।



চিত্র ঃ 8.3 মিথেন অণুর চতুস্তলকীয় মডেল

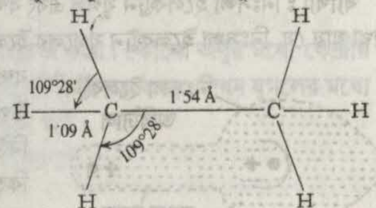
(2) **মিথেন অণুর চতুস্তলকীয় মডেল ঃ**

একটি কার্বন পরমাণুর সম-চতুস্তলকীয় যোজ্যতা-বিন্যাসের একটি যোজ্যতা যখন অন্য একটি কার্বন পরমাণুর অনুরূপ যোজ্যতা বিন্যাসের একটি যোজ্যতার সঙ্গে যুক্ত হয় তখন কার্বন পরমাণু দুটির মধ্যে এক বন্ধনের সৃষ্টি হয়। অর্থাৎ **দুটি C পরমাণুর দুটি সমচতুস্তলক এক-একটি শীর্ষ দ্বারা পরস্পরের সঙ্গে যুক্ত হয়ে (C—C) এক বন্ধন সৃষ্টি করে।** ইথেনের আণবিক গঠন লক্ষ করলে দেখা যায় এর মধ্যে প্রত্যেকটি C পরমাণুর চতুস্তলকীয় আকার অটুট থাকে। ইথেন অণুতে যুক্ত সমচতুস্তলক দুটির মুক্ত শীর্ষগুলিতে একটি করে H পরমাণু যুক্ত থাকে। H—C—H বা H—C—C বন্ধন কোণের পরিমাণ = 109°28′।



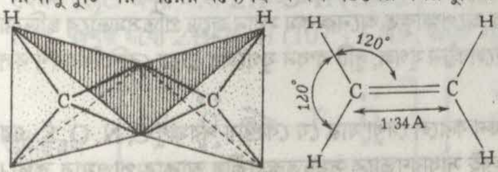
দুটি সমচতুস্তলক পরস্পর শীর্ষবিন্দুতে মিলিত হয়েছে

(3) **ইথিলিন অণুর চতুস্তলকীয় মডেল ঃ**



চিত্র 8.4

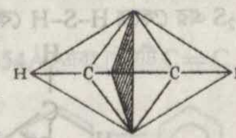
একটি C পরমাণুর সমচতুস্তলকীয় যোজ্যতা-বিন্যাসের দুটি যোজ্যতা যখন অন্য একটি C পরমাণুর অনুরূপ যোজ্যতা বিন্যাসের দুটি যোজ্যতার সঙ্গে যুক্ত হয়, তখন C পরমাণু দুটির মধ্যে দ্বি-বন্ধনের সৃষ্টি হয়। দেখা যায় কার্বন-কার্বন পরমাণু দুটি পরস্পরের মধ্যে দ্বি-বন্ধন গঠনের সময় দুটি কার্বন পরমাণুই নিজনিজ চতুস্তলকীয় আকার বজায় রাখার চেষ্টা করে এবং **দুটি চতুস্তলক একটি সাধারণ প্রান্তের দ্বারা পরস্পরের সঙ্গে যুক্ত হয়**। এর ফলে যে দুটি যোজ্যতা পরস্পরের সঙ্গে মিলিত হয় তারা বেঁকে পরস্পরের কাছে চলে আসে, ফলে অন্য দুটি যোজ্যতা পরস্পর থেকে দূরে সরে যায়। এর ফলে C পরমাণু দুটির সমচতুস্তলকীয় যোজ্যতা বিন্যাস নষ্ট হয়ে যায়, যার জন্য H—C—C বা H—C—H বন্ধন কোণের পরিমাণ 120° হয়। ইথিলিন অণুতে 2টি O পরমাণু এবং 4টি H পরমাণু একই সমতলে থাকে।



চিত্র 8.5 ঃ ইথিলিনের বন্ধন দৈর্ঘ্য এবং বন্ধন কোণ

(4) **অ্যালিটিলিন অণুর চতুস্তলকীয় মডেল ঃ**

অ্যাসিটিলিন অণুতে দুটি C পরমাণু পরস্পরের সঙ্গে ত্রিবন্ধন দ্বারা যুক্ত থাকে। C পরমাণুর সমচতুস্তলক যোজ্যতা বিন্যাসের সাহায্যে অ্যাসিটিলিন অণুর গঠন ব্যাখ্যা করা যায়। অ্যাসিটিলিন অণুর মধ্যে একটি C পরমাণুর তিনটি চতুস্তলকীয় যোজ্যতা, অন্যটির অনুরূপ তিনটি যোজ্যতার সঙ্গে মিলিত হয়ে C ≡ C ত্রি-বন্ধন সৃষ্টি করে অর্থাৎ কার্বন-কার্বন পরমাণু ত্রি-বন্ধন গঠনের সময় চতুস্তলক দুটি পরস্পরের সঙ্গে একটি সাধারণ তলে যুক্ত হয় অর্থাৎ একটি C পরমাণুর সমচতুস্তলকের একটি তলের সঙ্গে অপর C পরমাণুর সমচতুস্তলকের একটি তল পরস্পর সমাপতিত হয়ে এই ত্রি-বন্ধনের সৃষ্টি করে। এইভাবে মিলিত হওয়ার সময় যোজ্যতা তিনটি পরস্পরের দিকে বেঁকে যায়। ফলে C—C বন্ধন দৈর্ঘ্য অনেক কমে যায়। এইভাবে যোজ্যতা তিনটি বেঁকে যাওয়ায় H—C—C **বন্ধন কোণ বা C—C—H বন্ধন কোণের পরিমাণ** 180° হয়—অর্থাৎ H—C—C—H **পরমাণু চারটি এক সরলরেখায় থাকে।**



চিত্র 8.6 ঃ অ্যাসিটিলিন অণুর সমচতুস্তলকীয় মডেল



চিত্র 8.7 ঃ অ্যাসিটিলিন অণুর বন্ধন কোণ ও বন্ধন দৈর্ঘ্য

8.9. NH_3, H_2O, H_2S, CO_2, NO_2 এবং SO_2 অণুর যোজ্যতা সেলের ইলেকট্রন যুগল বিকর্ষণ সূত্র এবং সমযোজী অণুর আকার [Valency Shell Electron pair repulsion theory]

● **সমযোজী অণুর গঠন এবং V.S.E.P.R. সূত্র ঃ**

সমযোজী অণুর গঠনে V.S.E.P.R. যোজ্যতা সেলের ইলেকট্রন বিকর্ষণ সূত্রটি অনবদ্য। বিজ্ঞানী **গিলেসপি** (Gilliespie) এবং **নাইহোলম** (Nyholm) এই সূত্রটির প্রবক্তা।

কোনো অণুতে নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল বর্তমান থাকলে সেই অণুর বন্ধন-কোণ এবং গঠনাকৃতির আমূল পরিবর্তন হয়। কারণ হিসাবে বলা যায়, নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল নিজেদের মধ্যে এবং বন্ধনে নিযুক্ত ইলেকট্রন যুগলের প্রতি একটি বিকর্ষণ বল প্রয়োগ

করতে থাকে, এর ফলে বন্ধন কোণের পরিবর্তন হয়। নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল অণুর অনেকটা স্থান জুড়ে অবস্থান করে। বিভিন্ন সূত্রের সাহায্যে ওই দুই বিজ্ঞানী সমযোজী অণুর প্রকৃত গঠন, অণুর আকারে বিকৃতকরণ, বন্ধন কোণের পরিবর্তন এবং বন্ধন দৈর্ঘ্যের বৃদ্ধি বা হ্রাসের প্রকৃত কারণের ব্যাখ্যা করতে সক্ষম হন। কয়েকটি সূত্রের উল্লেখ এবং ব্যাখ্যা এখানে দেওয়া হল—

প্রথম সূত্র— বন্ধনে নিযুক্ত কোনো ইলেকট্রন যুগলের উপর, তার **পার্শ্ববর্তী বন্ধনে নিযুক্ত ইলেকট্রন যুগলের চেয়ে নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল অধিকতর তীব্রভাবে বিকর্ষণ বল প্রয়োগ করে**। বিভিন্ন ইলেকট্রন যুগলের মধ্যে যে যে বিভিন্ন বিকর্ষণ বল ক্রিয়া করে তার ক্রম নীচে দেখানো হল—

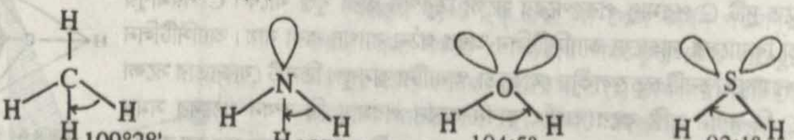
দুটি নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগলের মধ্যে বিকর্ষণ বল > 1টি নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল ও 1টি বন্ধন যুগলের মধ্যে বিকর্ষণ বল > দুটি বন্ধন যুগলের মধ্যে বিকর্ষণ বল।

অর্থাৎ **নিঃসঙ্গ যুগল—নিঃসঙ্গ যুগলের বিকর্ষণ > নিঃসঙ্গ যুগল—বন্ধন যুগল > বন্ধন যুগল—বন্ধন যুগল।**

ব্যাখ্যা ঃ নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল এবং বন্ধন যুগলের চারদিকে ইলেকট্রন-চার্জের মেঘ যেভাবে ত্রিদিকে বিস্তৃত থাকে, তাতে দেখা যায় যে, নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগলের ইলেকট্রন মেঘের উপর একটি মাত্র নিউক্লিয়াসের প্রভাব উপস্থিত থাকে, অপরদিকে বন্ধন যুগলের ইলেকট্রন মেঘের উপর দুটি নিউক্লিয়াসের পজিটিভ চার্জের প্রভাব উপস্থিত থাকে। এর ফলে নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগলের ইলেকট্রন মেঘ একটি মাত্র নিউক্লিয়াসের চারদিকে অনেকটা স্থান জুড়ে ছড়িয়ে থাকে। বন্ধন যুগলের নিউক্লিয়াস কিন্তু 2টি নিউক্লিয়াসের মাঝে অপেক্ষাকৃত অনেক কম স্থান জুড়ে প্রতিসমভাবে ছড়িয়ে থাকে। এর ফলে, নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল, দুটি বন্ধন যুগলের চেয়ে বেশি বিকর্ষণ বল প্রয়োগ করতে সক্ষম হয়।



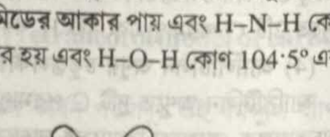
প্রয়োগ—(i) CH_4, NH_3, H_2O, H_2S প্রভৃতি অণুগুলিকে পর্যবেক্ষণ করলে দেখা যায় যে কেন্দ্রীয় পরমাণু C, N, O, S-এর সবগুলিই sp^3 সংকরায়িত অবস্থায় থাকে। সুতরাং অণুগুলির প্রত্যেকেরই সাধারণভাবে **সমচতুস্তলকীয় আকার পাওয়ার কথা।** কিন্তু একমাত্র CH_4 ছাড়া অপর অণুগুলির আকার সমচতুস্তলকীয় হয় না। NH_3-তে N পরমাণুর একটি নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল বর্তমান, H_2O-তে O পরমাণুর এবং H_2S-এর S পরমাণুর প্রত্যেকের দুটি করে নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল বর্তমান। যেহেতু নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগলের বিকর্ষণ শক্তি প্রবল, তাই NH_3-এর ক্ষেত্রে দেখা যায় যে অণুটি **পিরামিডের আকার** পায় এবং H–N–H কোণ 109°28' এর পরিবর্তে 107° হয়, H_2O এবং H_2S সমচতুস্তলকের পরিবর্তে 'V' আকৃতির হয় এবং H–O–H কোণ 104·5° এবং H_2S এর ক্ষেত্রে H–S–H কোণ = 92·1° হয়।



মিথেন অ্যামোনিয়া জল হাইড্রোজেন সালফাইড

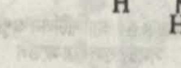
(ii) আবার **কার্বন ডাইঅক্সাইড** (CO_2) অণুতে দেখা যায় কার্বন পরমাণু (যার মধ্যে কোনো নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল নেই) 4টি যোজক ইলেকট্রন 2টি O পরমাণুর সাথে যুক্ত হয়ে CO_2 অণু উৎপন্ন করে। যেহেতু প্রতিটি O পরমাণুর 2টি করে নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল বর্তমান, তাই ওই নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগলের তীব্র বিকর্ষণের প্রভাবে বন্ধন যুগল O–C–O কোণ = 180°তে পরিণত হয়ে সরলরৈখিক অণুতে পরিণত হয়।

(iii) SO_2 অণুর ক্ষেত্রে দেখা যায় দুটি O পরমাণুর প্রত্যেকের দুটি করে নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল এবং S পরমাণুর 1টি নিষ্ক্রিয় ইলেকট্রন যুগলের প্রভাবে O–S–O কোণ যা হওয়া উচিত ছিল (120°) তার চেয়ে কম কোণ (119°5') উৎপন্ন করে।



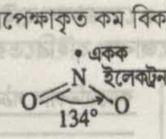
কার্বন ডাইঅক্সাইড সালফার ডাইঅক্সাইড

(iv) আবার এমন হতে পারে কয়েকটি অণুর গঠনে **নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগলের পরিবর্তে একটি নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন** উপস্থিত থাকতে পারে। সেক্ষেত্রে বন্ধন যুগলের প্রতি বিকর্ষণ বল অপেক্ষাকৃত কম হয়—যার ফলে বন্ধন কোণের বিকৃতি কম হয়। যেমন, NO_2 অণুর পর পর NO_2^+, NO_2 এবং NO_2^- এর গঠনাকৃতিতে। NO_2^+ গঠনে N পরমাণুর কোনো নিষ্ক্রিয় ইলেকট্রন জোড় থাকে না এবং CO_2-এর মতো সম ইলেকট্রন বর্তমান, তাই অণুটি সরলরৈখিক হয়।

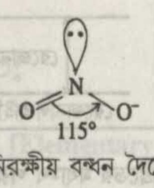


নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইড

NO_2-তে যখন N পরমাণুতে একক নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন বর্তমান থাকে, তখন বন্ধন যুগলের উপর অপেক্ষাকৃত কম বিকর্ষণ বল প্রযুক্ত হয়, ফলে O–N–O কোণটি অপেক্ষাকৃত বড়ো (134°) হয়।

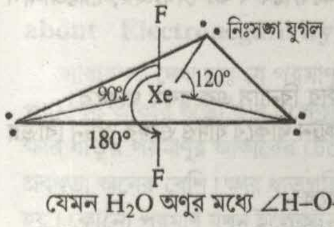


আবার NO_2 এর গঠনে O পরমাণুর উপর নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল উপস্থিত থাকে যার বিকর্ষণের প্রভাবে O–N–O কোণের পরিমাণ কমে যায়।



দ্বিতীয় সূত্র ঃ অণুর ট্রাইগোনাল বাইপিরামিড (T B P) আকৃতিতে কোনো অণু গঠনে এক বা একাধিক নিষ্ক্রিয় ইলেকট্রন যুগল নিরক্ষীয় স্থান দখল করে। একটি TBP আকারের অণুর গঠনে যেমন XeF_2-তে তিনটি নিরক্ষীয় বন্ধন এবং দুটি অক্ষীয় বন্ধন উপস্থিত থাকে।

তৃতীয় সূত্র ঃ ট্রাইগোনাল বাই পিরামিড গঠনে সবগুলি বন্ধন দৈর্ঘ্য সমান হয় না। এই সূত্রানুসারে



এই ধরনের গঠনে অক্ষীয় বন্ধন দৈর্ঘ্য (Axial bond) সর্বদা নিরক্ষীয় বন্ধন দৈর্ঘ্যের (Equatorial bond) **চেয়ে বেশি হয়।**

চতুর্থ সূত্র ঃ এই সূত্র বন্ধন কোণ নির্ণয়ে সহায়তা করে। **কোনো অণুর মধ্যে কেন্দ্রীয় পরমাণু ছাড়া অন্য পরমাণুগুলির ইলেকট্রো-নেগেটিভিটি যত বাড়ে, বন্ধন যুগলের মধ্যে বিকর্ষণ বল তত কমে,** ফলে বন্ধন কোণের হ্রাস ঘটে।

যেমন H_2O অণুর মধ্যে ∠H–O–H (104·5°) > **F_2O অণুর** মধ্যে ∠F–O–F (103·2°)

NH_3 অণুর মধ্যে ∠H–N–H (107°) > **NF_3** অণুর মধ্যে ∠F–N–F (102°)

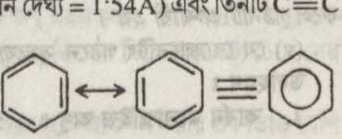
উদাহরণ [$H_2\ddot{O}$ > $F_2\ddot{O}$] [$\ddot{P}\,I_3$ > $\ddot{P}\,Br_3$ > $\ddot{P}\,Cl_3$]

H_2O	F_2O	PI_3	PBr_3	PCl_3
H—O—H	F—O—F	I—P—I	Br—P—Br	Cl—P—Cl
কোণ = 104·5°	কোণ 103·2°	কোণ 102°	কোণ 101·5°	কোণ 100°

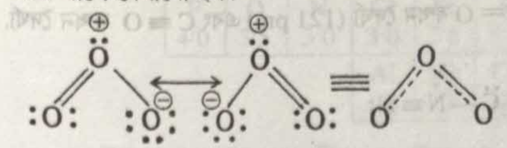
8.10. রেজোনান্স [Resonance]

কতকগুলি অণুর ক্ষেত্রে দেখা যায় কতকগুলি যৌগের অণুর একক লুইস গঠনমূলক সংকেত যৌগটির সব ধর্মের ব্যাখ্যা দিতে পারে না। যেমন, বেঞ্জিনের গঠনমূলক সংকেত I এবং II দ্বারা প্রকাশ করা যায়।

উভয় প্রকার গঠনেই দুই রকম C—C বন্ধন আছে, যথা—3টি C—C এক বন্ধন (বন্ধন দৈর্ঘ্য = 1·54Å) এবং তিনটি C═C দ্বি-বন্ধন (বন্ধন দৈর্ঘ্য = 1·34Å)। কিন্তু পরীক্ষা দ্বারা নির্ণীত হয়েছে যে বেঞ্জিনের সবগুলি C—C বন্ধন সমান এবং প্রত্যেকটির দৈর্ঘ্য = 1·39Å। সুতরাং দেখা গেল বেঞ্জিনের কতকগুলি ধর্ম কোনো একটি সংকেত দ্বারা ব্যাখ্যা করা যায় না। যদি এই দুটি I এবং II গঠনমূলক সংকেতের মাঝামাঝি কোনো গঠনমূলক সংকেত ব্যবহার করা হয় তা হলে বেঞ্জিনের সব ধর্মগুলির সন্তোষজনক ব্যাখ্যা পাওয়া সম্ভব। ওজোনের ক্যানোনিক্যাল গঠন এবং রেজোন্যান্স হাইব্রিডের গঠন পাশে দেখানো হল।



I II

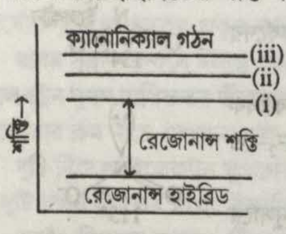


ওজনের ক্যানোনিক্যাল গঠন

কোনো যৌগের অণুর প্রকৃত গঠনকে দুই বা ততোধিক গঠনমূলক সংকেত দ্বারা প্রকাশ করা যায়, যদিও এই গঠনমূলক সংকেতগুলির কোনো একটি গঠন অণুটির প্রকৃত গঠনকে প্রকাশ করতে পারে না বা অণুটির সবগুলি ধর্মের ব্যাখ্যা দিতে পারে না। এই ঘটনাকে রেজোনান্স (Resonance) **বলে।** প্রতি দুটি পাশাপাশি অবস্থিত গঠনের মাঝে ⟷ ডবল তির চিহ্ন দেওয়া হয়। সুতরাং বেঞ্জিনের প্রকৃত গঠনমূলক সংকেতকে চিত্র অনুযায়ী প্রকাশ করা যায়।

কোনো অণুর সম্ভাব্য বিভিন্ন গঠনগুলির গড়ই হল অণুটির প্রকৃত গঠন। অণুটির প্রকৃত গঠনকে ওই সম্ভাব্য গঠনগুলির **রেজোনান্স হাইব্রিড বা সংকর** বলে এবং অণুটির সম্ভাব্য বিভিন্ন গঠনগুলিকে **রেজোনেটিং গঠন বা ক্যানোনিক্যাল স্পন্দনশীল গঠন** বলে।

● **রেজোনান্স হাইব্রিডের বৈশিষ্ট্য ঃ** (i) কোনো অণুর সম্ভাব্য বিভিন্ন রেজোনেটিং গঠনগুলির যেকোনো একটি গঠনের চেয়ে **রেজোনান্স হাইব্রিডের শক্তি সবচেয়ে কম বলে অণুটির রেজোনান্স হাইব্রিড গঠন সবচেয়ে স্থায়ী হয়।**



(ii) সবচেয়ে সুস্থিত রেজোনেটিং গঠনের শক্তি এবং রেজোনান্স হাইব্রিডের শক্তির মধ্যে যে পার্থক্য হয় তাকে অণুটির রেজোনান্স শক্তি (Resonance energy) বলে। রেজোন্যান্স শক্তি যত বেশি হবে অণুর গঠনটি তত সুস্থিত হবে।

(iii) রেজোনান্সের ফলে কোনো অণুর মধ্যস্থ বন্ধন দৈর্ঘ্য সমান হয়, যেমন ওজোন অণুর মধ্যে দুটি O—O বন্ধন দৈর্ঘ্য সমান হয়।

(iv) ক্যানোনিক্যাল গঠন সংখ্যা যত বেশি হবে অণুটি তত বেশি সুস্থিত হবে।

(v) যে-কোনো রেজোনেটিং গঠনে দুটি পরমাণুর মধ্যে যে বন্ধন দৈর্ঘ্য হয়, রেজোনান্স হাইব্রিডের মধ্যস্থ পরমাণু দুটির মধ্যে সৃষ্ট বন্ধন দৈর্ঘ্য তার চেয়ে কম হয়।

● **রেজোনেটিং গঠনের জন্য প্রয়োজনীয় শর্ত ঃ**

(i) রেজোনেটিং বা ক্যানোনিকাল গঠনগুলির সবগুলির মধ্যে পারমাণবিক নিউক্লিয়াসের বিন্যাস এক রকম থাকবে।

(ii) রেজোনেটিং বা ক্যানোনিকাল গঠনগুলির মধ্যে সমান সংখ্যক যুগ্ম এবং অযুগ্ম ইলেকট্রন থাকবে যদিও ওদের বণ্টন বিভিন্ন হতে পারে।

(iii) বিভিন্ন রেজোনেটিং বা ক্যানোনিকাল গঠনগুলির শক্তি সমান অথবা কাছাকাছি হবে।

(iv) রেজোনেটিং গঠনগুলি সমতলিক হবে।

(v) প্রত্যেকটি রেজোনেটিং গঠনের আকৃতি লুইসের ইলেকট্রন ডট গঠন অনুযায়ী হতে হবে অর্থাৎ অণুর মধ্যস্থ প্রত্যেকটি পরমাণুর যোজ্যতা সঠিক থাকবে।

(vi) একটি অণুর সম্ভাব্য রেজোনেটিং গঠনগুলির সবগুলি, অণুটির আসল রূপ প্রকাশ করে না। এই রেজোনেটিং গঠনগুলির মধ্যে বিশেষ যেগুলি আসল অণুর গঠনে অংশ নেয়, রেজোনেন্স হাইব্রিড প্রকাশের জন্য কেবল সেই গঠনগুলি ব্যবহার করা হয়।

● **অণুর রেজোনেটিং বা ক্যানোনিকাল গঠন নীচের বিষয়গুলির উপর নির্ভর করে—**

(i) ননপোলার বা অধ্রুবীয় রেজোনেটিং গঠন ডাইপোলার বা ধ্রুবীয় রেজোনেটিং গঠনের চেয়ে বেশি স্থায়ী হয়।

(ii) রেজোনেটিং গঠনে বিচ্ছিন্ন চার্জ থাকলে—তার স্থায়িত্ব কমে যায়।

(iii) যদি রেজোনেটিং গঠনগুলির সবগুলিতে আংশিক চার্জ থাকে, তাহলে যে গঠনে সবচেয়ে বেশি ইলেকট্রো-নেগেটিভ পরমাণুতে নেগেটিভ চার্জ এবং সবচেয়ে বেশি ইলেকট্রো-পজিটিভ পরমাণুতে পজিটিভ চার্জ থাকে, সেই গঠনটি বেশি স্থায়ী হয়।

(iv) যে রেজোনেটিং গঠনে *ইলেকট্রন ঘাটতির দ্বারা সৃষ্ট পজিটিভ চার্জ যুক্ত পরমাণু থাকে সেই গঠনটির শক্তি বেশি হয়, যার ফলে গঠনটি অস্থায়ী হয়।*

(v) যে রেজোনেটিং গঠনে *সমযোজী বন্ধনের সংখ্যা যত বেশি থাকে সেই গঠনটি তত বেশি স্থায়ী হয়।*

উদাহরণ ঃ

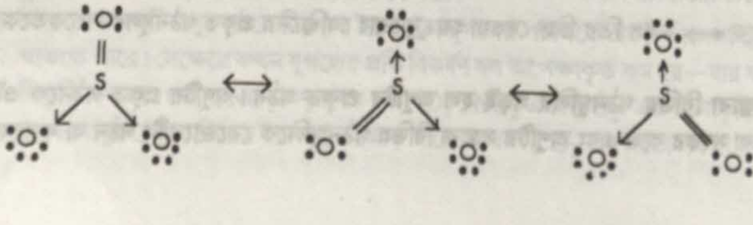
1. **কার্বন মনোক্সাইড অণু ঃ** $:C=\ddot{O}: \leftrightarrow :C\overset{\leftarrow}{\equiv}O:$

2. **কার্বন ডাইঅক্সাইড অণু ঃ** $\ddot{\underset{..}{O}}=C=\ddot{\underset{..}{O}} \leftrightarrow :\overset{-}{\ddot{\underset{..}{O}}}-C\equiv\overset{+}{O}: \leftrightarrow :\overset{+}{O}\equiv C-\overset{-}{\ddot{\underset{..}{O}}}:$

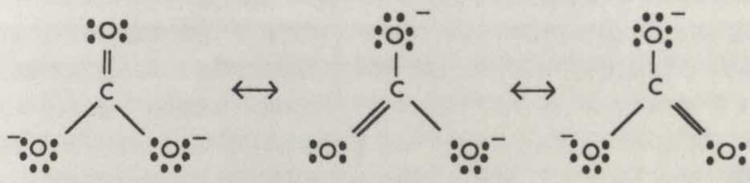
CO_2 অণুর প্রকৃত গঠন হল এই তিনটি ক্যানোনিক্যাল গঠনের রেজোনান্স হাইব্রিড। পরীক্ষায় প্রাপ্ত ফল থেকে দেখা যায় C—O এর বন্ধন দৈর্ঘ্য সব ক্ষেত্রেই সমান = 115 pm হয়, যা হল C = O বন্ধন দৈর্ঘ্য (121 pm) এবং C ≡ O বন্ধন দৈর্ঘ্য (110 pm) এর মাঝামাঝি হয়।

3. **ডায়াজো মিথেন অণু ঃ** $H_2C=\overset{+}{N}=\overset{-}{\ddot{N}}: \leftrightarrow H_2\overset{-}{\ddot{C}}-\overset{+}{N}\equiv N:$

4. **SO_3-এর রেজোনান্স গঠন ঃ**



5. CO_3^{2-} এর রেজোনান্স গঠন ঃ



8.11. মৌলের ইলেকট্রো-নেগেটিভিটি বা ঋণতড়িৎধর্মিতা সম্পর্কে প্রাথমিক ধারণা [Elementary idea about Electronegativity]

সাধারণত দেখা যায় যে পরমাণুর আকার যত ছোটো হয়, ইলেকট্রন গ্রহণ করার প্রবণতা তার তত বেশি হয়। অপরদিকে যে পরমাণুর আকার বড়ো তার ইলেকট্রন গ্রহণ করার প্রবণতা অপেক্ষাকৃত কম। যেমন, হ্যালোজেন মৌলগুলির পরমাণুর আকার, ক্ষার ধাতুর পরমাণুর আকারের চেয়ে অনেক ছোটো হওয়ায়, ক্ষার ধাতুগুলির চেয়ে হ্যালোজেন পরমাণুর ইলেকট্রন গ্রহণ করার প্রবণতা অনেক বেশি। ক্ষার ধাতুগুলির পরমাণুর আকার বড়ো হওয়ায় ওদের ইলেকট্রন গ্রহণের চেয়ে ত্যাগ করার প্রবণতা বেশি হয়। কোনো পরমাণু যখন ইলেকট্রন গ্রহণ করে, পরমাণুটি তখন নেগেটিভ তড়িৎগ্রস্ত আয়নে পরিণত হয়। এই প্রক্রিয়ায় কিছুটা শক্তি মুক্ত হয়।

● **মৌলের ইলেকট্রোনেগিটিভিটি বা তড়িৎঋণাত্মকতা ঃ**

সংজ্ঞা ঃ স্থায়ী অণুর মধ্যে রাসায়নিক বন্ধন দ্বারা আবদ্ধ থাকা অবস্থায়, কোনো মৌলের পরমাণুর, বন্ধন সৃষ্টিকারী ইলেকট্রন জোড়কে নিজের দিকে আকর্ষণ করার প্রবণতা বা ক্ষমতাকে মৌলটির ইলেকট্রোনেগেটিভিটি (Electronegativity) **বলে।**

উদাহরণ ঃ ধরি, দুটি একই জাতীয় পরমাণু সমযোজ্যতা দ্বারা যুক্ত হয়ে একটি অণু গঠন করে—যেমন, H_2। এই অণুর মধ্যে যে ইলেকট্রন জোড়টি সমযোজী বন্ধনে অংশ নেয়, সেই ইলেকট্রন জোড়ের, প্রতি দুটি H পরমাণুরই সমান আকর্ষণ থাকায় ইলেকট্রন জোড়টি ওই দুটি পরমাণু থেকে সমান দূরত্বে অবস্থান করে।

$$H \text{—}\!:\!\text{—} H$$

কিন্তু যখন দুটি অসম তড়িৎধর্মী পরমাণু সমযোজ্যতা দ্বারা পরস্পর যুক্ত হয়ে একটি অণু গঠন করে, যেমন HCl অণু, তখন অণুটির মধ্যে যে ইলেকট্রন জোড়টি বন্ধনে অংশ নেয়, সেই ইলেকট্রন জোড়টিকে Cl পরমাণু নিজের দিকে অনেকটা টেনে নেয়। এর ফলে ওই ইলেকট্রন জোড় H-এর চেয়ে Cl পরমাণুর নিকটবর্তী হয় **H— :C̈l:**।

এর কারণ, H-এর চেয়ে Cl পরমাণুর ইলেকট্রো-নেগেটিভিটি বেশি, তাই ইলেকট্রন জোড়কে আকর্ষণ করার প্রবণতাও বেশি।

ফ্লুওরিন পরমাণুর ইলেকট্রো নেগেটিভিটি সবচেয়ে বেশি। তাই ফ্লুওরিনের ইলেকট্রো-নেগেটিভিটির মান = 4 ধরে, সেই তুলনায় অন্যান্য মৌলের ইলেকট্রো-নেগেটিভিটির মান নীচে দেওয়া হল ঃ

F	O	N	Cl	Br	S	C	I	P	H	B	Sn	Pb
4·0	3·5	3·0	3·0	2·8	2·5	2·5	2·4	2·1	2·1	2·0	1·7	1·5
			Al	Mg	Ca	Li	Na	Ba	K			
			1·5	1·2	1·0	1·0	0·9	0·9	0·8			

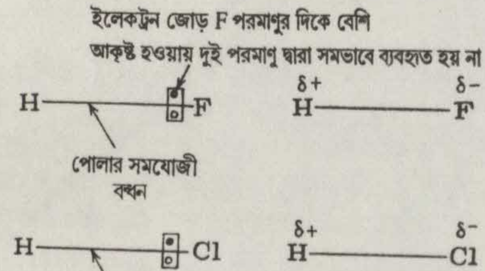
● **মৌলের ইলেকট্রন-আসক্তি এবং ইলেকট্রো-নেগেটিভিটির মধ্যে পার্থক্য ঃ** পরমাণুর ইলেকট্রন-আসক্তি এবং ইলেকট্রো-নেগেটিভিটি বলতে একই ধর্ম বোঝায় না। রাসায়নিক বন্ধনে আবদ্ধ থাকা অবস্থায় কোনো মৌলের পরমাণুর বন্ধন সৃষ্টিকারী ইলেকট্রন জোড়কে আকর্ষণ করার প্রবণতা বা ক্ষমতা পরমাণুটির ইলেকট্রো-নেগেটিভিটির মান দ্বারা প্রকাশ পায়। বিচ্ছিন্ন অবস্থায় কোনো মৌলের পরমাণুর ইলেকট্রন আকর্ষণ করার প্রবণতা বা ক্ষমতা ইলেকট্রন-আসক্তির মান দ্বারা প্রকাশ পায়।

● **মৌলের ইলেকট্রো-নেগেটিভিটির পরিমাণ নীচের বিষয়গুলির উপর নির্ভর করে ঃ**

(1) পরমাণুর আয়তন বা ব্যাসার্ধের উপর ঃ নিউক্লিয়াস থেকে সবচেয়ে বাইরের কক্ষের ইলেকট্রনের দূরত্বই পরমাণুর ব্যাসার্ধ।

(2) ধ্রুবীয় অণু বা পোলার অণু (polar molecules) ঃ সমযোজী বন্ধন দ্বারা যুক্ত দুটি পরমাণু যদি বিভিন্ন হয় এবং পরমাণু দুটির ইলেকট্রো-নেগেটিভিটি যদি এক না হয়, তাহলে দেখা যায়, ওই পরমাণু দুটির মধ্যে গঠিত সমযোজী বন্ধনে নিযুক্ত ইলেকট্রন-জোড়টি, যে পরমাণুর ইলেকট্রো-নেগেটিভিটি অপেক্ষাকৃত বেশি, সেই পরমাণুর দিকে বেশি সরে যায়। সাধারণত দেখা যায়, **পরমাণু দুটির মধ্যে যেটি অপেক্ষাকৃত বেশি ইলেকট্রো-নেগেটিভ, সেই পরমাণুর দিকে ইলেকট্রন-জোড়টি সরে যায়, ফলে ওই পরমাণুটি ইলেকট্রন-জোড়টির উপর বেশি দখল নেয়।** এর ফলে যে পরমাণুটি ইলেকট্রন-জোড়টিকে নিজের দিকে বেশি টেনে নেয়, সেটি আংশিক নেগেটিভ চার্জ এবং যে পরমাণু থেকে ইলেকট্রন-জোড়টি দূরে সরে যায় সেটি আংশিক পজিটিভ চার্জ লাভ করে। এই অবস্থায় সমযোজ্যতা দ্বারা গঠিত অণুটি সামগ্রিকভাবে দ্বিমেরু **বিশিষ্ট ধ্রুবীয় বা ডাইপোলার** (Dipolar) **অণুতে** পরিণত হয়।

যেমন, হাইড্রোফ্লুওরিক অ্যাসিডের অণুর মধ্যে H এবং F পরমাণু পরস্পরের সঙ্গে সমযোজী বন্ধন দ্বারা যুক্ত হয়ে HF অণু গঠন করে। কিন্তু F পরমাণুর ইলেকট্রো-নেগেটিভিটি H পরমাণুর চেয়ে অনেক বেশি। হাইড্রোজেন এবং ফ্লুওরিন পরমাণুর ইলেকট্রো-নেগেটিভিটি যথাক্রমে 2·1 এবং 4·1—এই দুই পরমাণু যখন সমযোজ্যতা দ্বারা HF অণু গঠন করে, তখন বন্ধনে নিযুক্ত ইলেকট্রন-জোড়টি দুটি পরমাণুর কেন্দ্র থেকে সমান দূরত্বে থাকে না, F পরমাণুটি ইলেকট্রন-জোড়টিকে নিজের দিকে অনেকটা টেনে আনে। এর ফলে HF অণুর মধ্যে পরমাণু দুটির ইলেকট্রন বণ্টন সমান হয় না। F পরমাণুর কেন্দ্র থেকে ইলেকট্রন-জোড়টির দূরত্ব, H পরমাণু থেকে ইলেকট্রন-জোড়টির দূরত্বের চেয়ে অনেক কম হয়। ফলে HF অণুর F প্রান্তটি আংশিক নেগেটিভ তড়িৎগ্রস্ত হয় এবং H প্রান্তটি আংশিক পজিটিভ তড়িৎগ্রস্ত হয়। এইভাবে HF অণুটিতে বিপরীত তড়িৎগ্রস্ত দুটি মেরুর সৃষ্টি হয়ে দ্বিমেরু বিশিষ্ট ধ্রুবীয় অণু বা ডাইপোলার অণুতে পরিণত হয়। এই জাতীয় ডাইপোলার অণুর মধ্যে যে পরমাণুটি আংশিক পজিটিভ তড়িৎগ্রস্ত হয় তার মাথায় (δ^+) এবং যে পরমাণুটি আংশিক নেগেটিভ তড়িৎগ্রস্ত হয় তার মাথায় (δ^-) বসিয়ে পরমাণু দুটির ফর্মাল চার্জ বা আধান প্রকাশ করা হয়। যেমন—



অনেক সময় ধ্রুবীয় অণুর পজিটিভ প্রান্ত থেকে নেগেটিভ প্রান্ত অভিমুখী একটি তীর চিহ্ন দিয়ে ডাইপোল মোমেন্টের দিক নির্দেশ করা হয়। যেমন, $\overset{\delta^+}{H} - \overset{\delta^-}{Cl}$ কে $H \overset{+}{\rightarrow} Cl$ দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

● **পোলার বা ধ্রুবীয় বন্ধন** (Polar bond) ঃ **ভিন্ন ইলেকট্রো-নেগেটিভিটি সম্পন্ন দুটি অসম পরমাণু, অর্থাৎ দুটি ভিন্ন মৌল দ্বারা গঠিত অণুর সমযোজী বন্ধনকে পোলার বন্ধন বলে এবং ওই রকম বন্ধন দ্বারা গঠিত অণুটিকে ধ্রুবীয় বা পোলার অণু বলা হয়।**

অথবা, যে সমযোজী বন্ধনে, সংযোজিত পরমাণু দুটির মধ্যে ইলেকট্রন-জোড়টির অসম বণ্টন হওয়ার ফলে পরমাণু দুটির মধ্যে একটি আংশিক পজিটিভ চার্জ এবং অপরটি আংশিক নেগেটিভ চার্জ লাভ করে, সেই সমযোজী বন্ধনকে পোলার বন্ধন বলে।

● **অণুর পোলারিটি বা ধ্রুবীয়তা কোন কোন বিষয়ের উপর নির্ভর করে ঃ**

(1) সাধারণভাবে দেখা যায়, **অসম ইলেকট্রো-নেগেটিভিটি সম্পন্ন ভিন্ন মৌলের পরমাণুগুলি সমযোজী বন্ধনে আবদ্ধ হয়ে যে অণু উৎপন্ন করে, সেই অণু ধ্রুবীয় বা পোলার হয়। অণুটির পোলারিটির মাত্রা নির্ভর করে ওই সংযোজক পরমাণু দুটির আপেক্ষিক ইলেকট্রো-নেগেটিভিটির উপর,** কারণ ইলেকট্রন-জোড়ের সরণের পরিমাণ নির্ভর করে সমযোজী বন্ধনে আবদ্ধ পরমাণু দুটির আপেক্ষিক ইলেকট্রো-নেগেটিভিটির উপর। নীচে ক্রমবর্ধমান ইলেকট্রো-নেগেটিভিটি অনুযায়ী কয়েকটি মৌলের পরমাণু দেখানো হল ঃ

$$H, < P, < I, < C, S, < Br, < Cl, N, < O, < F$$

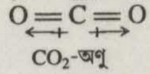
দুটি পরমাণুকে যে ইলেকট্রন-জোড় সমযোজী বন্ধন দ্বারা যুক্ত করে, একটি রেখায় এই ঃ চিহ্ন দ্বারা তাদের অবস্থান দেখিয়ে বন্ধনের পোলারিটির যে চিত্র পাওয়া যায় তা নীচে দেখানো হল ঃ



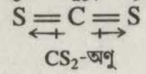
(2) শুধু ইলেকট্রো-নেগেটিভিটির পার্থক্যের উপর পোলার বা ধ্রুবীয় অণুর গঠন নির্ভর করে না :

অনেক ক্ষেত্রে দেখা যায় যে, একটি অণুর মধ্যে একাধিক সমযোজী বন্ধন থাকে এবং এই বন্ধনগুলির মধ্যে প্রতিটি সমযোজী বন্ধন পোলার হলেও সামগ্রিকভাবে অণুটি পোলার না-ও হতে পারে। তাই বলা যায় যে, কেবলমাত্র পরমাণুগুলির **ইলেকট্রোনেগেটিভিটির বা তড়িৎ-ধর্মিতার উপর ধ্রুবীয় অণুর উৎপত্তি নির্ভর করে না,—অণুর গঠন অথবা অণুটির জ্যামিতিক আকারের উপরও নির্ভর করে।** নীচে কয়েকটি উদাহরণের সাহায্যে বিষয়টি ব্যাখ্যা করা হল।

(i) C এবং O পরমাণুর মধ্যে কিংবা C এবং S পরমাণুর মধ্যে ইলেকট্রো-নেগেটিভিটির পার্থক্য থাকলেও CO_2 এবং CS_2 অণু দুটি পোলার নয়, CO_2 অণুর C এবং O পরমাণুর মধ্যে ইলেকট্রো-নেগেটিভিটির পার্থক্য আছে। অনুরূপে CS_2 অণুর C এবং S-এর মধ্যেও ইলেকট্রো-নেগেটিভিটির পার্থক্য আছে। এখন CO_2 বা CS_2 অণুর মধ্যে 2টি O পরমাণু বা 2টি S পরমাণু, C পরমাণুর সঙ্গে সমযোজ্যতা দ্বারা যুক্ত হয়ে একই রেখায় C পরমাণু থেকে সমান দূরত্বে কিন্তু বিপরীত পার্শ্বে অবস্থান করে। এখন C-এর চেয়ে O বেশি ইলেকট্রো-নেগেটিভ, অনুরূপে C-এর চেয়ে S বেশি ইলেকট্রো নেগেটিভ, তাই ইলেকট্রন জোড়টি C পরমাণু থেকে O কিংবা S পরমাণুর দিকে সরে যায়। তাই C পরমাণুটি আংশিক পজিটিভ তড়িৎ পায় এবং O বা S পরমাণু আংশিক নেগেটিভ তড়িৎ পায়। CO_2 অণুর প্রতিটি $\overset{\delta^+}{C} - \overset{\delta^-}{O}$ বন্ধন পোলার। অনুরূপে CS_2 অণুর প্রতিটি $\overset{\delta^+}{C} - \overset{\delta^-}{S}$ বন্ধন পোলার। কিন্তু যেহেতু এই বন্ধন দুটি C পরমাণুর দুই বিপরীত পার্শ্বে একই সরলরেখায় থাকে, তাই সমগ্র অণুর মধ্যে পরমাণুগুলির চার্জ পৃথক হলেও **চার্জের অভিকর্ষ কেন্দ্র সমকেন্দ্রিক হয়,** যার ফলে সমগ্র অণুটির মধ্যে তড়িৎ বিস্তার সব জায়গায় সমান হয়, ফলে দুটি বিপরীত মেরুর সৃষ্টি হয় না। **এর জন্যই CO_2 বা CS_2 অণুগুলি নন-পোলার বা অধ্রুবীয় হয়।**

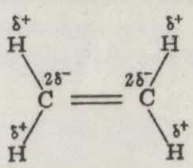


CO_2-অণু

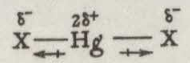


CS_2-অণু

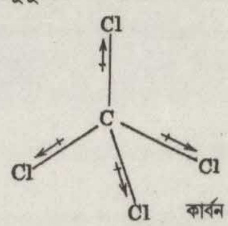
একই কারণে CH_4, C_2H_4, C_2H_2, HgX_2 (X = Cl, Br, I), CCl_4 অণুগুলিও নন-পোলার বা অধ্রুবীয়।



ইথিলিন ননপোলার অণু

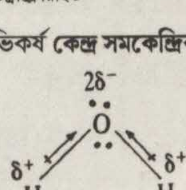


মার্কিউরিক হ্যালাইড অণু



কার্বন টেট্রাক্লোরাইড

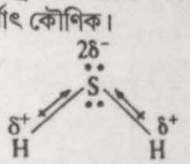
CCl_4 অণুর প্রতিটি $\overset{\delta^+}{C} - \overset{\delta^-}{Cl}$ বন্ধন পোলার। কিন্তু অণুটির প্রতিসম বিন্যাসের জন্য সমগ্র চার্জের অভিকর্ষ **কেন্দ্র সমকেন্দ্রিক হয়,** ফলে সমগ্র অণুর মধ্যে তড়িৎ বিস্তার সমান হওয়ায় দ্বিমেরু সৃষ্টি হয় না তাই অণুটি নন-পোলার।



H_2O অণু

(ii) H_2O, H_2S, SO_2, NH_3, CH_3Cl —এই অণুগুলি প্রত্যেকটি ধ্রুবীয় অণু। এর কারণ হল প্রত্যেকটি অণুর মধ্যে যে পরমাণুগুলি আছে **তাদের ইলেকট্রো-নেগেটিভিটির পার্থক্য আছে এবং পরমাণুগুলি এক রেখায় থাকে না।** যেমন—

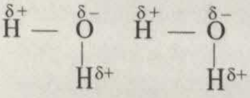
(a) জলের অণু ধ্রুবীয় বা পোলার। জলের অণুর মধ্যে 2টি H পরমাণু O পরমাণুর সঙ্গে 104·3° কোণ করে অবস্থান করে। এর ফলে জলের অণুর মধ্যে 2টি $\overset{\delta^+}{H} - \overset{\delta^-}{O}$ বন্ধনের পোলারিটি এক মাত্রার হলেও, ওদের কৌণিক অবস্থানের জন্য, একে অপরটিকে প্রশমিত করতে পারে না। অর্থাৎ H এবং O পরমাণুর চার্জের অভিকর্ষকেন্দ্র সমকেন্দ্রিক হয় না। এর ফলে, H_2O অণুটির মধ্যে তড়িৎ বিস্তার সব জায়গায় সমান হয় না—**অক্সিজেন প্রান্তে আংশিক নেগেটিভ চার্জ** এবং **হাইড্রোজেন প্রান্তে আংশিক পজিটিভ চার্জের সৃষ্টি হয়ে H_2O ধ্রুবীয় অণুর সৃষ্টি করে।** জলের অণুর আকৃতি "V" এর মতো অর্থাৎ কৌণিক।



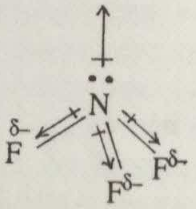
H_2S-অণু

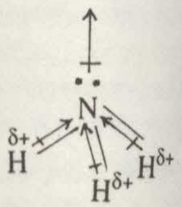
(b) H_2S অণু ধ্রুবীয় বা পোলার। H_2S-এর 2টি H পরমাণু S পরমাণুর সঙ্গে 92·2° কোণ করে অবস্থান করে। যেহেতু H-এর চেয়ে S পরমাণুর ইলেকট্রো-নেগেটিভিটি বেশি, তাই এক্ষেত্রে S প্রান্তটি আংশিক নেগেটিভ এবং H প্রান্তটি আংশিক পজিটিভ তড়িৎ পেয়ে সমগ্র অণুটি ধ্রুবীয় অণুতে পরিণত হয়।

(iv) যৌগের গলনাঙ্ক এবং স্ফুটনাঙ্ক, অণুর ডাইপোল মোমেন্টের উপর নির্ভর করে। ধ্রুবীয় অণুর মধ্যে দুটি বিপরীত মেরুর সৃষ্টি হয়। একটি অণুর যে কোনো একটি মেরু অন্য অণুর বিপরীত মেরুকে আকর্ষণ করবে। এর ফলে অণুগুলি পরস্পর সংযোজিত অবস্থায় থাকবে। সুতরাং ডাইপোল মোমেন্ট যত বেশি হবে দ্বিমেরু অণু দ্বারা গঠিত যৌগের অণুগুলির সংযোজিত অবস্থা তত শক্তিশালী হবে, ফলে যৌগটির গলনাঙ্ক এবং স্ফুটনাঙ্ক বৃদ্ধি পাবেই। এজন্যই দেখা যায় HCl-এর চেয়ে H_2O-এর স্ফুটনাঙ্ক বেশি। HCl-এর $\mu = 1{\cdot}03$, H_2O-এর $\mu = 1{\cdot}85$.



● ***NF_3 এবং NH_3-এর অণুর গঠন এক রকম হওয়া সত্ত্বেও NF_3-এর ডাইপোল মোমেন্ট NH_3-এর চেয়ে কম, কারণ*** NH_3 এবং NF_3 **দুটি অণুই পিরামিড আকৃতির।** উভয়ের N-পরমাণুতে একটি করে নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল বর্তমান, কিন্তু NH_3-এর ডাইপোল মোমেন্ট 1·46 D এবং NF_3-এর মাত্র 0·2 D। এর কারণ হল, NF_3 অণুর মধ্যে F পরমাণু, N-পরমাণুর চেয়ে বেশি ইলেকট্রো-নেগেটিভ হওয়াতে বন্ধন মোমেন্ট N $\nrightarrow$ F -এর দিকে বিস্তৃত থাকে। এর ফলে N পরমাণুর **নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল দ্বারা সৃষ্ট মোমেন্ট এবং বন্ধন মোমেন্ট পরস্পরের বিপরীত দিকে ক্রিয়া করে।** তাই NF_3 অণুর মোট ডাইপোল মোমেন্ট কমে যায়। NH_3 অণুতে নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল দ্বারা সৃষ্ট মোমেন্ট এবং বন্ধন মোমেন্ট একই দিকে ক্রিয়া করে। তাই NH_3-এর ডাইপোল মোমেন্ট NF_3-এর চেয়ে বেশি হয়।



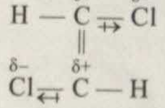


● ***CO অণুর ডাইপোল মোমেন্ট কম, কারণ*** CO-এর অণু গঠন হল $\cdot\dot{C} \equiv \ddot{O}\cdot$

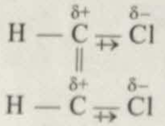
C এবং O উভয় পরমাণুই *sp* সংকরায়িত। সরলরৈখিক CO অণুর মধ্যে একটি σ বন্ধন এবং দুটি π বন্ধন বর্তমান। এই দুটি π বন্ধনের মধ্যে একটি সাধারণ π বন্ধন এবং অপরটি dative π বন্ধন। অক্সিজেনের পূর্ণ $2p_z$ অর্বিট্যালের ইলেকট্রন যুগল এবং C-এর খালি $2p_z$ অর্বিট্যালের মধ্যে পাশাপাশি অভিলেপনের ফলে এই π বন্ধনটির সৃষ্টি হয়। এই অণুর মধ্যে O-এর ইলেকট্রো-নেগেটিভিটি C-এর চেয়ে বেশি হওয়ার জন্য CO-এর মধ্যে বন্ধন মোমেন্ট C $\nrightarrow$ O-এর দিকে বিস্তৃত থাকে, কিন্তু C এবং O-এর মধ্যে dative π বন্ধন সৃষ্টি হওয়ার ফলে কিছুটা ইলেকট্রন মেঘ C-এর দিকে সরে আসার দরুণ দুটি বিপরীত মেরুর সৃষ্টি হয়। এর ফলে বন্ধন মোমেন্ট (C $\nrightarrow$ O)-এর মান খানিকটা কমে যায়। এই কারণেই CO অণুর ডাইপোল মোমেন্ট অনেক কম (0·12 D)।

● **সিস এবং ট্রান্স আইসোমারের মধ্যে পার্থক্য ঃ** দ্বিমেরু ভ্রামকের মানের সাহায্যে সিস এবং ট্রান্স আইসোমারে পার্থক্য সহজেই নির্ণয় করা হয়।

(*a*) ট্রান্স ডাইক্লোরো ইথিলিন অণুর মধ্যে C—Cl বন্ধন পোলার হলেও, অণুটির মধ্যে ওরা পরস্পরের বিপরীত পার্শ্বে অবস্থান করে, তাই সমগ্র অণুর মধ্যে পরমাণুগুলির চার্জ পৃথক হলেও চার্জের অভিকর্ষ কেন্দ্র সমকেন্দ্রিক হয়। এর ফলে সমগ্র অণুটির মধ্যে চার্জের বিস্তার সব জায়গায় সমান হয় ফলে বিপরীত মেরুর সৃষ্টি হয় না, তাই **অণুটি নন-পোলার হয়। সিস ডাইক্লোরো ইথিলিন** কিন্তু পোলার অণু। কারণ এর C—Cl পোলার বন্ধন দুটি একই পার্শ্বে অবস্থান করে। সিস্ অণুর দ্বিমেরু ভ্রামক সর্বদাই ট্রান্স অণুর দ্বিমেরু ভ্রামকের মানের চেয়ে বেশি হয়। কোনো কোনো ক্ষেত্রে ট্রান্স অণুর দ্বিমেরু ভ্রামকের মান 0 হয়।

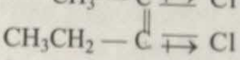


ট্রান্স ডাইক্লোরো ইথিলিন

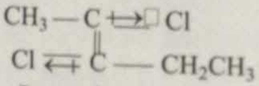


সিস ডাইক্লোরো ইথিলিন

(ii) অনুরূপে সিস এবং ট্রান্স 2.3-ডাইক্লোরো পেন্টিনের মধ্যে সিস অণুটির ডাইপোল মোমেন্ট ট্রান্স অণুটির চেয়ে অনেক বেশি হবে।



সিস্ 2.3-ডাইক্লোরো পেন্টিন
ডাইপোল মোমেন্ট উচ্চ

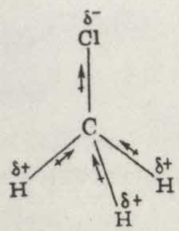


ট্রান্স 2.3-ডাইক্লোরো পেন্টিন
ডাইপোল মোমেন্ট কম

● ***CO_2 বা CS_2 উভয় অণু সরলরৈখিক এবং নন-পোলার (অধ্রুবীয়) কিন্তু NO_2 অণু সরলরৈখিক হলেও ধ্রুবীয়-এর কারণ হল, কোনো যৌগের অণুর মধ্যে ইলেকট্রো নেগেটিভিটির পার্থক্যবিশিষ্ট পরমাণুগুলি এক রেখায় অবস্থান করলেই যে অণুটি অধ্রুবীয় হবে তা নয়।*** যেমন CO_2, CS_2-এর মধ্যস্থ পরমাণুগুলির ইলেকট্রো-নেগেটিভিটির পার্থক্য আছে,

কিন্তু C পরমাণুকে মাঝে রেখে O বা S পরমাণু দুটি এক রেখায় অবস্থান করার জন্য চার্জের অভিকর্ষ-কেন্দ্র সমকেন্দ্রিক হয়, ফলে ওরা নন-পোলার অণুতে পরিণত হয়। (কারণ আগেই বলা হয়েছে)। সুতরাং CO_2-এর দ্বিমেরু ভ্রামক = 0

$$\overset{\delta-}{O}=\overset{\delta+}{C}=\overset{\delta-}{O} \qquad \overset{\delta+}{N}\equiv\overset{\delta+}{N}\rightarrow\overset{2\delta-}{O}$$



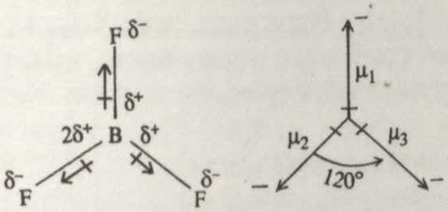
মিথাইল ক্লোরাইড অণুটির (C—Cl)বন্ধনের পোলারিটি তিনটি (C—H) বন্ধনের পোলারিটিদ্বারা প্রশমিত হয় না —তাইCH₃Clঅণু পোলার।

কোনো অণুর মধ্যস্থ পরমাণুগুলি এক রেখায় অবস্থান করলেও যদি ওদের চার্জের অভিকর্ষ-কেন্দ্র সমকেন্দ্রিক না হয় তাহলে কিন্তু ওই পরমাণু দ্বারা গঠিত যৌগের অণুটি পোলার বা ধ্রুবীয় হবে। যেমন N_2O অণুটি ধ্রুবীয়। N_2O অণুটি সরলরৈখিক, 2টি N পরমাণু এবং 1টি O পরমাণু এক সরলরেখায় অবস্থান করে, তবে 2টি N পরমাণু এক প্রান্তে এবং O পরমাণুটি অন্য প্রান্তে থাকে। N_2O অণুর গঠন উপরে দেখানো হল।

এই অণুর মধ্যে N—N বন্ধন এবং N→O বন্ধনের মধ্যে পোলারিটি পার্থক্য থাকে। কারণ N পরমাণুর চেয়ে O পরমাণুর ইলেকট্রো-নেগেটিভিটি বেশি। তাই এই বন্ধন দুটি থেকে উৎপন্ন পোলারিটি এক রেখায় থাকলেও—ওদের মাত্রা সমান নয় বলে, ওরা পরস্পরকে প্রশমিত করতে পারে না—অর্থাৎ পরমাণুগুলির চার্জের অভিকর্ষ কেন্দ্র সমকেন্দ্রিক হয় না। তাই N_2O অণুটি পোলার হয়।

● ***BF_3 অণুটি সরলরৈখিক নয় তবু এর ডাইপোল মোমেন্ট শূন্য কেন?***

B-এর চেয়ে F পরমাণুর ইলেকট্রো-নেগেটিভিটি বেশি, সুতরাং প্রতিটি B—F বন্ধনে দ্বি-মেরুর সৃষ্টি হয়। BF_3 অণুটি সমবাহু ত্রিভুজাকার—ত্রিভুজটির কেন্দ্রে B পরমাণু থাকে এবং তিন শীর্ষে তিনটি F পরমাণু থাকে। প্রতিটি B—F বন্ধন পরস্পরের সঙ্গে 120° কোণ করে থাকে। এর ফলে যেকোনো দুটি বন্ধনের লব্ধি ডাইপোল মোমেন্ট তৃতীয়টির সমান ও বিপরীত হয়। যেহেতু দ্বিমেরু ভ্রামক একটি ভেক্টর রাশি, সুতরাং এই লব্ধি দ্বিমেরু ভ্রামক তৃতীয় B—F বন্ধনের দ্বিমেরু ভ্রামকের সমান কিন্তু বিপরীতমুখী হয়, যা তৃতীয় বন্ধনের দ্বিমেরু ভ্রামককে নিষ্ক্রিয় করে দেয়।



BF_3 এর মধ্যে $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu$ (B—F) Å

প্রতিটি F — B — F বন্ধন কোণ = 120° বা $\theta = 120°$

যেকোনো দুটি BF বন্ধনের জন্য $\mu^2 = \mu_1^2 + \mu_2^2 + 2\mu_1\mu_2 \cos\theta$

$= \mu_1^2 + \mu_1^2 + 2\mu_1\mu_1 \cos 120°$ $\quad [\because \mu_1 = \mu_2 = \mu_3]$

$= 2\mu_1^2 - 2\mu_1^2 \times \frac{1}{2} = \mu_1^2$ $\quad \because \cos 120° = -\frac{1}{2}$

$\therefore \mu = \pm\mu_1$

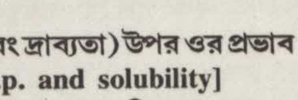
এইভাবে দুটি B—F বন্ধনের লব্ধি দ্বিমেরু ভ্রামক তৃতীয় B—F বন্ধনের দ্বিমেরু ভ্রামককে নিষ্ক্রিয় করে দেয়।

অনুরূপে CH_4, CCl_4, CF_4 অণুগুলির প্রত্যেকটির ডাইপোল মোমেন্ট = 0. কিন্তু $CHCl_3$ বা ক্লোরোফর্মের অণুর ডাইপোল মোমেন্ট শূন্য নয়, কারণ এ ক্ষেত্রে $CHCl_3$ অণুর মধ্যস্থ তিনটি (C—Cl) বন্ধনের দ্বিমেরু ভ্রামকের মান একটি (C—H) বন্ধনের দ্বিমেরু ভ্রামকের মান সমান নয়।

8.13. হাইড্রোজেন বন্ধন এবং যৌগের ভৌত ধর্মের (গলনাঙ্ক, স্ফুটনাঙ্ক এবং দ্রাব্যতা) উপর ওর প্রভাব [Hydrogen bond and its effects on physical properties (m.p., b.p. and solubility]

H পরমাণুর মধ্যে একটি প্রোটন এবং 1টি ইলেকট্রন থাকে—তাই H পরমাণুর অন্য একটি ইলেকট্রো-নেগেটিভ পরমাণুর সঙ্গে সমযোজী বন্ধনে আবদ্ধ থেকে যৌগ গঠন করে। কিন্তু অনেক সময় দেখা যায় H পরমাণু, তীব্র ইলেকট্রো-নেগেটিভ মৌলের (যেমন **ফ্লুওরিন, অক্সিজেন, নাইট্রোজেন**) সঙ্গে সমযোজী বন্ধনে আবদ্ধ থাকা অবস্থাতেও, ওই একই মৌলের দ্বিতীয় একটি পরমাণুর সঙ্গে অথবা অন্য কোনো উচ্চ ইলেকট্রো-নেগেটিভ মৌলের পরমাণুর সঙ্গে, বিশেষ ধরনের একরকম বন্ধন সৃষ্টি করে যুক্ত হতে পারে, অর্থাৎ দুটি তীব্র ইলেকট্রো-নেগেটিভ পরমাণুর মাঝে অবস্থান করে, H পরমাণুটি ওই পরমাণু দুটির মধ্যে মিলন ঘটায় ফলে মনে হয় একযোজী H পরমাণুটি যেন দ্বিযোজী পরমাণুতে পরিণত হয়েছে। এটা কী করে সম্ভব হয় দেখা যাক।

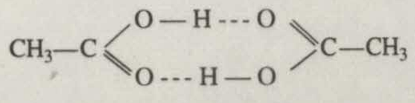
যেমন ধরি, AH একটি হাইড্রোজেন-ঘটিত যৌগ। **A পরমাণুটির আকার ছোটো** এবং তীব্র ইলেকট্রো-নেগেটিভ (যেমন F, O, N পরমাণু)। AH অণুর মধ্যে H পরমাণু সমযোজী বন্ধন দ্বারা A-এর সঙ্গে আবদ্ধ থাকলেও যেহেতু A পরমাণুটি H-এর চেয়ে অনেক বেশি ইলেকট্রো-নেগেটিভ, তাই সমযোজী বন্ধনে নিযুক্ত ইলেকট্রন জোড়টিকে A পরমাণুটি নিজের দিকে অনেকটা টেনে নেয়—ফলে A পরমাণুতে আংশিক নেগেটিভ চার্জ এবং H



ইলেকট্রন জোড়টি H প্রান্ত থেকে দূরে A-এর কাছে থাকে

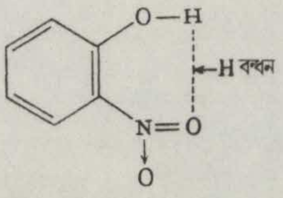
[illegible]

(b) অ্যাসেটিক অ্যাসিড, ফর্মিক অ্যাসিড, প্রভৃতি অ্যাসিডের দুটি অণু H-বন্ধন দ্বারা পরস্পর যুক্ত হয়ে **ডিমার** (dimer) বা দ্বিগুণিত অণু গঠন করে। একটি অণুর OH গ্রুপের H পরমাণু এবং অন্য অণুর (= CO) গ্রুপের O পরমাণুর মধ্যে H বন্ধন সৃষ্টি হয়ে এই ডিমার অণু গঠিত হয়।

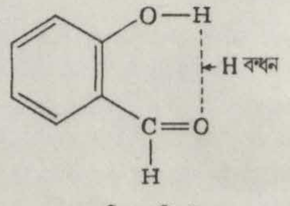


অ্যাসেটিক অ্যাসিডের ডিমার অণু

2. অন্তঃ-আণবিক অর্থাৎ একই অণুর বিভিন্ন অংশের মধ্যে সৃষ্ট হাইড্রোজেন-বন্ধন (Intra-molecular H-bond) ঃ একটি অণুর মধ্যস্থ তীব্র ইলেকট্রো-নেগেটিভ পরমাণুর সঙ্গে ওই অণুর মধ্যেই উপস্থিত H পরমাণু হাইড্রোজেন-বন্ধন সৃষ্টি করতে পারে। এইরকম H-বন্ধনকে অন্তঃ-আণবিক H-বন্ধন বলে। যেমন, **অর্থো নাইট্রোফেনল** অণুর মধ্যে থাকা OH গ্রুপের H পরমাণুর



O নাইট্রোফেনল



স্যালিস্যালডিহাইড

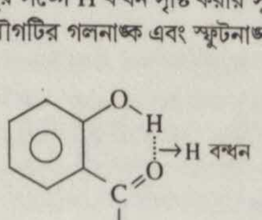
সঙ্গে অর্থো অবস্থানে থাকা **নাইট্রো গ্রুপের** O পরমাণুর মধ্যে হাইড্রোজেন বন্ধন সৃষ্টি হয়। অনুরূপে **স্যালিস্যালডিহাইড** অণুর মধ্যে OH গ্রুপের H পরমাণু এবং অর্থো অবস্থানে থাকা CHO গ্রুপের O পরমাণুর মধ্যে অন্তঃ-আণবিক H-বন্ধন সৃষ্টি হয়।

● **বিভিন্ন যৌগের ভৌত ধর্মের (গলনাঙ্ক, স্ফুটনাঙ্ক, দ্রাবতা) উপর হাইড্রোজেন-বন্ধনের প্রভাব ঃ**

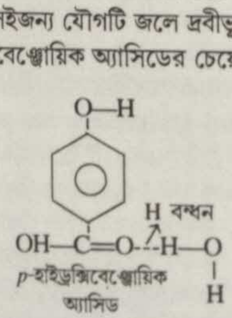
বিভিন্ন যৌগের ভৌত ধর্মের উপর হাইড্রোজেন বন্ধনের প্রভাব যথেষ্ট। হাইড্রোজেন বন্ধনের প্রভাবে, কোনো যৌগের অণু-গুলি সংযোজিত অবস্থায় থাকতে পারে। **এর ফলে যৌগটির আপাত আণবিক গুরুত্ব বৃদ্ধি পায়, ফলে ওর গলনাঙ্ক, স্ফুটনাঙ্ক বৃদ্ধি পায়, উদ্‌বায়িতা কমে যায়।** এছাড়া কোনো যৌগের **দ্রাব্যতা, অ্যাসিড ধর্ম** বা **ক্ষারীয় ধর্মের** উপরও H-বন্ধনের প্রভাব লক্ষ করা যায়।

(1) অ্যারোমেটিক যৌগের জৈব গলনাঙ্ক, স্ফুটনাঙ্ক এবং দ্রাব্যতার উপর H-বন্ধনের প্রভাব ঃ

(i) ***p*-*হাইড্রক্সিবেঞ্জোয়িক অ্যাসিডের চেয়ে o-হাইড্রক্সি-বেঞ্জোয়িক অ্যাসিডের গলনাঙ্ক, স্ফুটনাঙ্ক এবং জলে দ্রাব্যতা কম হয় ।*** এর কারণ হল—**অর্থো-হাইড্রক্সিবেঞ্জোয়িক অ্যাসিডের** অর্থো অবস্থানে OH গ্রুপ থাকায়, অণুর মধ্যস্থ কার্বনিল (= C = O) গ্রুপের O পরমাণু এবং OH গ্রুপের H পরমাণুর মধ্যে H-বন্ধন গঠিত হয়। এর ফলে OH গ্রুপের H পরমাণুটি জলের অণুর সঙ্গে বা অন্য অণুর সঙ্গে H বন্ধন সৃষ্টি করার সুযোগ পায় না। সেইজন্য যৌগটি জলে দ্রবীভূত হয় না। অণুগুলি একক অবস্থায় থাকার জন্য যৌগটির গলনাঙ্ক এবং স্ফুটনাঙ্ক প্যারা-হাইড্রক্সিবেঞ্জোয়িক অ্যাসিডের চেয়ে কম হয়।



o-হাইড্রক্সিবেঞ্জোয়িক অ্যাসিড

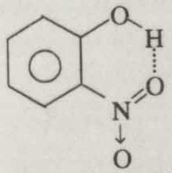


p-হাইড্রক্সিবেঞ্জোয়িক অ্যাসিড

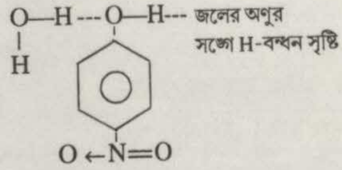
প্যারা-হাইড্রক্সিবেঞ্জোয়িক অ্যাসিডের প্যারা অবস্থানে OH গ্রুপ থাকায়, অণুর মধ্যস্থ কার্বনিল (COOH) গ্রুপের O পরমাণুর সঙ্গে OH গ্রুপের H পরমাণুর H বন্ধন সৃষ্টি করার সুযোগ পায় না। এর ফলে COOH গ্রুপের O পরমাণুর সঙ্গে জলের H পরমাণু H-বন্ধন গঠন করে। এইভাবে H বন্ধন সৃষ্টির মাধ্যমে যৌগটি জলে দ্রবীভূত হয় অর্থাৎ যৌগটি জলে দ্রাব্য।

(ii) অর্থো-নাইট্রোফেনল অণুর মধ্যে NO_2 গ্রুপের O পরমাণু এবং OH গ্রুপের H পরমাণুর মধ্যে H-বন্ধন গঠিত হয়। এর ফলে জলের সঙ্গে H-বন্ধন গঠন করার জন্য কোনো OH গ্রুপ পাওয়া যায় না। ফলে জলে ওর দ্রাব্যতা কমে যায়, তাই জলে সামান্য

দ্রাব্য। অণু-অণুর মধ্যে H-বন্ধন গঠিত হওয়ার জন্য কোনো OH গ্রুপ থাকে না বলে অণুগুলি সংযোজিত অবস্থায় থাকে না—একক রূপে থাকে, তাই এর গলনাঙ্ক, স্ফুটনাঙ্ক এবং জলে দ্রাব্যতা, p-নাইট্রোফেনলের চেয়ে কম কিন্তু উদ্‌বায়িতা বেশি হয়।



o-নাইট্রোফেনল



p-নাইট্রোফেনল

প্যারা-নাইট্রোফেনলের OH গ্রুপটি প্যারা অবস্থান থাকার জন্য ওর OH গ্রুপকে জলের সঙ্গে H-বন্ধন সৃষ্টি করার জন্য পাওয়া যায়। তাই জলের অণুর সঙ্গে H-বন্ধন সৃষ্টির মাধ্যমে যৌগটি জলে সম্পূর্ণ দ্রবীভূত হয়। তাছাড়া অণুগুলির পরমাণু পরস্পরের সঙ্গে H-বন্ধন দ্বারা যুক্ত হয়ে সংযোজিত অবস্থায় থাকতে পারে। তাই এই যৌগের গলনাঙ্ক এবং স্ফুটনাঙ্ক অর্থো আইসোমারের চেয়ে বেশি এবং উদ্‌বায়িতা কম হয়।

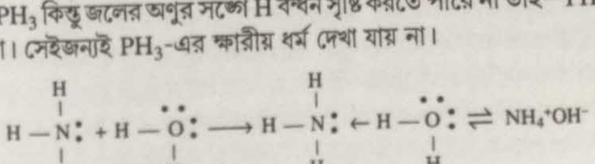
(2) *হ্যালোজেন অ্যাসিডগুলির মধ্যে HF-এর স্ফুটনাঙ্ক সবচেয়ে বেশি কেন?*

HF অণুর মধ্যে F পরমাণুটি তীব্র ইলেকট্রো-নেগেটিভ এবং আকার ছোটো। তাই HF অণুগুলির পরস্পরের মধ্যে H-বন্ধন সৃষ্টি হয়। এর ফলে H-বন্ধনে আবদ্ধ HF অণুগুলি পরস্পরের সঙ্গে সংযোজিত অবস্থায় থাকে। এই H-বন্ধনগুলিকে ছিন্ন করতে বেশি তাপ শক্তির প্রয়োজন হয়। তাই HF-এর গলনাঙ্ক বা স্ফুটনাঙ্ক অপেক্ষাকৃত বেশি। অন্যান্য হ্যালোজেন মৌলের পরমাণুগুলি F পরমাণুর চেয়ে কম ইলেকট্রো-নেগেটিভ এবং ওদের আকারও F-এর তুলনায় অনেক বড়ো। তাই HCl, HBr বা HI অণুগুলির মধ্যে H বন্ধন সৃষ্টি হয় না। তাই দেখা যায় হ্যালোজেন অ্যাসিডগুলির মধ্যে HF-এর স্ফুটনাঙ্ক সবচেয়ে বেশি এবং HI-এর স্ফুটনাঙ্ক সবচেয়ে কম। হ্যালোজেন অ্যাসিডগুলির স্ফুটনাঙ্ক **বৃদ্ধির ক্রম** হল $HI < HBr < HCl < HF$

(3) *সাধারণ উষ্ণতায় O_2 একটি গ্যাস এবং S একটি কঠিন পদার্থ, কিন্তু O-এর হাইড্রাইড H_2O* -জল তরল এবং স্ফুটনাঙ্ক = 100°C এবং S-এর হাইড্রাইড H_2S-হল একটি গ্যাস এর স্ফুটনাঙ্ক = –60°C। এর কারণ হল, S পরমাণুর চেয়ে O পরমাণু বেশি ইলেকট্রো-নেগেটিভ। তাছাড়া O পরমাণুর আকার S-এর চেয়ে অনেক ছোটো। এর ফলে একটি H_2O অণুর H পরমাণু অন্য একটি H_2O অণুর O পরমাণুর মধ্যে সহজেই H বন্ধন সৃষ্টি করে। ফলে H_2O অণুগুলি পরস্পর হাইড্রোজেন বন্ধন দ্বারা যুক্ত হয়ে সংযোজিত অবস্থায় থাকে। এই অসংখ্য H বন্ধনকে ছিন্ন করতে বেশি তাপশক্তির প্রয়োজন, তাই সাধারণ উষ্ণতায় H_2O তরল এবং এর গলনাঙ্ক বা স্ফুটনাঙ্ক H_2S-এর চেয়ে বেশি। যেহেতু S পরমাণুর আকার বড়ো এবং ইলেকট্রো-নেগেটিভিটি কম, তাই H_2S অণুগুলির পরস্পরের মধ্যে H বন্ধন সৃষ্টির মাধ্যমে সংযোজিত অবস্থায় থাকতে পারে না—এক একটি অণু একক অবস্থায় থাকে এবং দুর্বল ভাণ্ডারওয়াল বন্ধন দ্বারা আবদ্ধ থাকে। তাই H_2S সাধারণ উষ্ণতায় গ্যাস।

(4) *অ্যামোনিয়া এবং ফসফিন অণুর গঠন একই রকম, অথচ দেখা যায় PH_3-এর চেয়ে NH_3-এর গলনাঙ্ক এবং স্ফুটনাঙ্ক বেশি— NH_3-কে সহজেই তরলে পরিণত করা যায়।* এর কারণ হল, N পরমাণু P পরমাণুর চেয়ে বেশি ইলেকট্রো-নেগেটিভ। তাছাড়া N পরমাণুর আকার P-পরমাণুর চেয়ে অনেক ছোটো। তাই NH_3 অণুগুলির মধ্যে খুব সহজেই H-বন্ধন সৃষ্টি হয়। এই H বন্ধনের প্রভাবে NH_3 অণুগুলিকে সহজেই সংযোজিত অবস্থায় আনা যায় অর্থাৎ তরলে পরিণত করা যায়। একই কারণে NH_3-এর গলনাঙ্ক PH_3-এর চেয়ে বেশি। P পরমাণুর আকার N-এর চেয়ে অনেক বড়ো এবং এর তড়িৎ ঋণাত্মকতা N-এর অনেক কম। তাই P এবং H পরমাণুর মধ্যে H বন্ধন সৃষ্টি হয় না। তাই PH_3 অণুগুলি একক অণুরূপে থাকে, তাই PH_3 সাধারণ উষ্ণতায় গ্যাস এবং ওর গলনাঙ্ক বা স্ফুটনাঙ্ক অনেক কম—সহজে তরলে পরিণত করা যায় না।

(5) *PH_3-এর চেয়ে NH_3-এর ক্ষারীয় ধর্ম বেশি কেন?* এর কারণ হল, NH_3-এর মধ্যে H-বন্ধনের উপস্থিতি। NH_3-এর সঙ্গে জলের সংযোগে NH_4OH উৎপন্ন হয়। এই অবস্থায় জলের অণুর একটি H পরমাণু এবং NH_3 অণুর মধ্যস্থ N পরমাণুর মধ্যে H বন্ধনের সৃষ্টি হয়। এর ফলে NH_4OH জলীয় দ্রবণে সামান্য আয়নিত হয়ে OH^- আয়ন দেয়। তাই NH_3-এর মৃদু ক্ষার ধর্ম দেখা যায়। PH_3 কিন্তু জলের অণুর সঙ্গে H বন্ধন সৃষ্টি করতে পারে না তাই—PH_3 জলের সঙ্গে যুক্ত হয়ে OH^- আয়ন উৎপন্ন করতে পারে না। সেইজন্যই PH_3-এর ক্ষারীয় ধর্ম দেখা যায় না।



জটিল আয়ন দ্বারা সৃষ্ট লবণকে **জটিল লবণ বা অসমযোজী জটিল লবণ** বলা হয়। এই জাতীয় যুত যৌগগুলির ক্ষেত্রে অসমযোজী শব্দটি ব্যবহার করা হয় কারণ—যৌগগুলির মধ্যে কেন্দ্রীয় ধাতব আয়নটি, ওকে ঘিরে থাকা উপাদান গুলির সাথে অসমযোজী বন্ধন দ্বারা যুক্ত থাকে। এই জাতীয় লবণের অপর একটি উদাহরণ হল $PtCl_4$, $4NH_3$ যাকে $[Pt(NH_3)_4Cl_4]$ রূপে প্রকাশ করা হয়।

● **যুগ্মলবণ ও জটিল লবণের পার্থক্য ঃ**

যুগ্ম লবণ (Double salt)	**জটিল লবণ** (Complex salt)
(1) উপাদানগুলি সমমোলার অনুপাতে যুক্ত থাকে।	(1) উপাদানগুলি (সরল লবণ) সমমোলার অনুপাতে থাকতে পারে বা নাও থাকতে পারে।
(2) যুগ্ম লবণ জলীয় দ্রবণে উপাদান লবণগুলির আয়নে বিয়োজিত হয়।	(2) জটিল লবণ জলীয় দ্রবণে জটিল আয়নে বিয়োজিত হয়—দ্রবণে উপাদান লবণগুলির আয়ন থাকে না।
(3) এই জাতীয় যৌগে আয়নীয় বন্ধন উপস্থিত থাকে।	(3) এই জাতীয় লবণে আয়নীয় এবং অসমযোজী বন্ধন উপস্থিত থাকে।

● **কোঅর্ডিনেশন যৌগ (Coordination compound) একটি কোঅর্ডিনেশন যৌগে একটি কেন্দ্রীয় ধাতব পরমাণু বা ক্যাটায়ন থাকে যা উপযুক্ত সংখ্যক অ্যানায়ন বা প্রশম অণু দ্বারা পরিবেষ্ঠিত থাকে এবং যা জলীয় দ্রবণে বা কঠিন অবস্থায় সাধারণত নিজস্ব পরিচিতি বজায় রাখে।** এই জাতীয় যৌগে কেন্দ্রীয় ধাতব পরমাণুটি ওর আয়নীয় যোজ্যতা বা সমযোজ্যতার উর্ধ্বে কিছু সংখ্যক উপাদান দ্বারা পরিবেষ্ঠিত থাকে। যেমন $[Cu(NH_3)_4]\ SO_4$ —এই জটিল যৌগে Cu-এর তড়িৎযোজ্যতা = 2 কিন্তু এই যৌগে Cu পরমাণুটি 4টি প্রশম NH_3 অণু দ্বারা পরিবেষ্ঠিত থাকে। এই জাতীয় দাতা আয়ন বা প্রশম অণু (NH_3), যেগুলি কেন্দ্রীয় ধাতব আয়নটির সাথে যুক্ত থাকে— তাদের **লিগ্যান্ড** বলা হয়।

অসমযোজী জটিল লবণ কীভাবে উৎপন্ন হয় তার প্রাথমিক তত্ত্বগুলির বিষয় বিজ্ঞানী লুইস অ্যালফ্রেড ওয়ারনার আমাদের জানান।

(1) জটিল যৌগের কেন্দ্রীয় ধাতু দুই রকম যোজ্যতা দেখায়—**(a) প্রাথমিক বা আয়নীকরণ যোজ্যতা, (b) গৌণ বা অআয়নীয় যোজ্যতা।** প্রাথমিক যোজ্যতাগুলি নেগেটিভ আয়ন দ্বারা প্রশমিত হয়। যেমন $CoCl_3$ যৌগে Co-এর প্রাথমিক যোজ্যতা = 3 এখন $CoCl_3$-এর সঙ্গে অ্যামোনিয়া যোগ করলে একটি জটিল যৌগ $CoCl_3$, $6NH_3$ বা $[Co(NH_3)_6]Cl_3$ পাওয়া যায়। এখানে Co-এর প্রাথমিক যোজ্যতা (3) 3টি Cl^- আয়ন দ্বারা প্রশমিত হয়েছে এবং Co-এর 6টি গৌণ যোজ্যতা 6 অণু NH_3 দ্বারা প্রশমিত হয়েছে। **প্রাথমিক যোজ্যতা ধাতব আয়নটির জারণ সংখ্যা প্রকাশ করে।** অপর দিকে **গৌণ যোজ্যতাগুলি ধাতুটির কোঅর্ডিনেশন সংখ্যা প্রকাশ করে।**

(2) এক একটি আয়নের গৌণ যোজ্যতা নির্দিষ্ট থাকে যেমন, **(i) Pt^{4+}, Co^{3+}, Fe^{3+}**-এর ক্ষেত্রে **গৌণ যোজ্যতা = 6, (ii) Cu^{2+}, Ni^{2+}**-এর ক্ষেত্রে **গৌণ যোজ্যতা = 4** এবং **(iii) Ag^+, Cu^+** এর ক্ষেত্রে গৌণ যোজ্যতা = 2

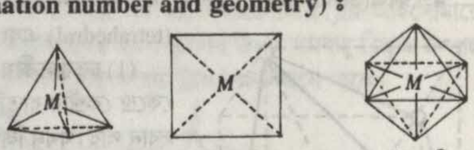
গৌণ যোজ্যতাগুলি আয়ন বা প্রশম অণু দ্বারা প্রশমিত হয়। এই আয়ন বা প্রশম অণুগুলিকে **লিগ্যান্ড** বলা হয়।

(3) জটিল যৌগের কেন্দ্রীয় ধাতুটির গৌণ যোজ্যতাগুলি প্রথমে লিগান্ড দ্বারা পূর্ণ হওয়ার পরও যদি জটিল যৌগে নেগেটিভ বা পজিটিভ চার্জ থেকে যায়, তাহলে সেই বাড়তি তড়িৎ যথাক্রমে প্রয়োজন মতো ধাতব ক্যাটায়ন বা অধাতব অ্যানায়ন দ্বারা প্রশমিত হয়।

উদাহরণ ঃ Co(III) ক্লোরাইড এবং অ্যামোনিয়া দ্বারা জটিল যৌগ উৎপন্ন হয়—$CoCl_3$, $6NH_3$; $CoCl_3$, $5NH_3$; $CoCl_3$, $4NH_3$—এই জটিল লবণগুলিকে যথাক্রমে $[Co(NH_3)_6]^{3+}3Cl^-$; $[Co(NH_3)_5Cl]^{2+}\ 2Cl^-$ এবং $[Co(NH_3)_4\ Cl_2]^+\ Cl^-$ রূপে প্রকাশ করা হয়। এখানে $[Co(NH_3)_6]^{3+}$, $[Co(NH_3)_5Cl]^{2+}$ ইত্যাদিগুলিকে **জটিল বা কমপ্লেকস্ আয়ন** বলা হয়।

এই গঠনগুলির সবগুলিতেই Co(III)-এর **গৌণ যোজ্যতা 6 ধরা হয়।** প্রথম যৌগটি $[Co(NH_3)_6]^{3+}\ 3Cl^-$ আয়নিত হয়ে যৌগটির প্রতি ফর্মুলা ওজনে 3টি Cl^- আয়ন দেয় এবং অপর দুটির ক্ষেত্রে প্রতি ফর্মুলা ওজনে যথাক্রমে 2টি এবং 1টি Cl^- দেয়। সুতরাং **লবণগুলির দ্রবণে $AgNO_3$ দ্রবণ যোগ করলে প্রথম লবণটির প্রতি মোলের জন্য 3 মোল AgCl অধঃক্ষিপ্ত হবে এবং দ্বিতীয় ও তৃতীয়টির জন্য প্রতি মোল লবণের জন্য যথাক্রমে 2 মোল ও এক মোল AgCl অধঃক্ষিপ্ত হবে।** বাস্তবে এই ফলই পাওয়া যায়। ওই জটিল লবণগুলির আয়নীয় পরিবাহিতা পরিমাপ করলে প্রথমটির ক্ষেত্রে সর্বোচ্চ মান পাওয়া যায়, যা প্রমাণ করে যে লবণটির প্রতি ফর্মুলা ওজনে সর্বাধিক সংখ্যক আয়ন বর্তমান।

● **কোঅর্ডিনেশন সংখ্যা (CN) এবং জ্যামিতিক গঠন (Coordination number and geometry) ঃ**



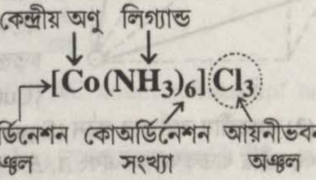
সমচতুস্তলকীয় সমতলীয় বর্গাকার অষ্টতলকীয়

পরমাণুর গৌণ যোজ্যতাগুলি অ্যানায়ন অথবা প্রশম অণু দ্বারা পূর্ণ হয় এবং নির্দিষ্ট জ্যামিতিক আকারে সজ্জিত হয়।

(i) যদি **গৌণ যোজ্যতা চার হয়,** তাহলে জটিল যৌগটির জ্যামিতিক আকার হবে **সমচতুস্তলকীয়** (regular tetrahedron) অথবা **সমতলীয় বর্গাকার** (square planar)।

(ii) যদি গৌণ যোজ্যতা **6 হয়,** তাহলে যৌগটির জ্যামিতিক আকার হবে **অষ্টতলকীয়।**

জটিল লবণের কোঅর্ডিনেশন সংখ্যা বলতে, জটিলযৌগ গঠনকারী কেন্দ্রীয় ধাতুটির সঙ্গে সরাসরিভাবে যুক্ত অ্যানায়ন, গ্রুপ অথবা প্রশম অণুর মোট সংখ্যা বোঝায়।



যেমন $[Co(NH_3)_6]^{3+}$ এর Co(III)-এর কোঅর্ডিনেশন সংখ্যা = 6 এবং $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$ এর মধ্যে Cu-এর কোঅর্ডিনেশন সংখ্যা = 4

কোঅর্ডিনেশন কমপ্লেকস্	কোঅর্ডিনেশান সংখ্যা	লিগ্যান্ড	কেন্দ্রীয় পরমাণুর জারণ সংখ্যা	জ্যামিতিক আকার
$[Co(NH_3)_6]^{3+}$	6	NH_3	Co/III	অষ্টতলকীয়
$[Co(NH)_5Cl]^{2-}$	6	$NH_3 + Cl^-$	Co/III	অষ্টতলকীয়
$[Nl(CN)_4]^{2-}$	4	CN	Ni/II	সমতলীয় বর্গাকার
$[Ni(H_2O)_6]^{2+}$	6	H_2O	Ni/II	অষ্টতলকীয়
$[Ni(Cl)_4]^{2+}$	4	Cl	Ni/II	সমচতুস্তলকীয়

লিগান্ডের প্রকার (Types of ligands) ঃ কতকগুলি অতিপ্রচলিত লিগান্ডের বিষয় এখানে উল্লেখ করা হল। জটিল কেন্দ্রীয় ধাতব আয়নের সঙ্গে লিগ্যান্ডগুলির বন্ধনের প্রকৃতি অনুযায়ী লিগ্যান্ডগুলিকে **মনোডেন্টেট লিগ্যান্ড, বাইডেন্টেট লিগ্যান্ড** এবং **পলিডেন্টেট লিগ্যান্ড রূপে শ্রেণীবদ্ধ করা হয়েছে।**

(a) মনোডেন্টেট লিগ্যান্ড—যে লিগ্যান্ড কেবলমাত্র এক জোড়া ইলেকট্রন, জটিল লবণের কেন্দ্রীয় ধাতব পরমাণু বা আয়নকে দান করতে পারে, তাকে মনোডেন্টেট লিগ্যান্ড বলে। মনোডেন্টেট লিগ্যান্ডের সাধারণ উদাহরণ হল OH^-, H_2O, NH_3, হ্যালাইড, অ্যামিন ইত্যাদি।

(b) বাইডেন্টেট লিগ্যান্ড—যে লিগ্যান্ডের দুটি পরমাণুর প্রত্যেকেই কেন্দ্রীয় ধাতব পরমাণু বা আয়নটিকে একটি করে ইলেকট্রন জোড় দান করে তাকে বাইডেন্টেট লিগ্যান্ড বলে। কেন্দ্রীয় ধাতব আয়নে দুটি বন্ধন স্থান থাকায়, দুটি বাইডেন্টেট লিগ্যান্ড ওই কেন্দ্রীয় ধাতুর আয়নকে ঘিরে বলয়াকৃতি গঠনের সৃষ্টি করে। কতকগুলি বাইডেন্টেট লিগ্যান্ডের উদাহরণ হল—

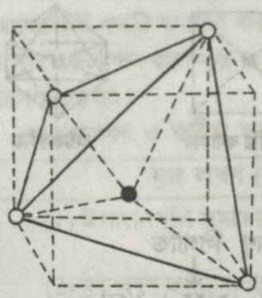
ইথিলিন ডাই অ্যামিন (: NH_2—CH_2—CH_2—H_2N :), **ইথিলিন ডাই ফসফিন** (: PH_2CH—CH_2—H_2P :), **পারঅক্সো** (: O—O :) ইত্যাদি।

(c) পলিডেন্টেট লিগ্যান্ড—এই জাতীয় লিগ্যান্ডের অণুতে কেন্দ্রীয় ধাতব আয়নকে ইলেকট্রন জোড় দান করার জন্য দুইয়ের বেশি সংখ্যক দাতা পরমাণু উপস্থিত থাকে। ইলেকট্রন জোড় দান করতে সক্ষম অর্থাৎ দাতা পরমাণুর সংখ্যা অনুযায়ী এই লিগ্যান্ডগুলিকে ট্রাই, টেট্রা, পেন্টা ইত্যাদি বলা হয়। এই জাতীয় লিগ্যান্ডের কয়েকটি উদাহরণ হল—ডাই ইথিলিন-ট্রাই-অ্যামিন, [: $NH_2CH_2CH_2NH\ CH_2\ CH_2\ H_2N$:], ইমিনো ডাই-অ্যাসিটেটো [–OOC–CH_2NHCH_2–COO–]।

● **4 এবং 6 কোঅর্ডিনেট সংখ্যা বিশিষ্ট জটিল লবণের জ্যামিতিক গঠন** (Geometrical structure of CN 4 and 6)

4 এবং 6 কোঅর্ডিনেট সংখ্যাবিশিষ্ট জটিল যৌগের জ্যামিতিক গঠন নিয়ে আলোচনা করা হল।

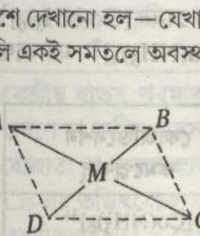
4-কোঅর্ডিনেট সংখ্যা বিশিষ্ট যৌগের গঠন—এই জাতীয় জটিল যৌগের জ্যামিতিক আকার 2 প্রকার—(1) **চতুস্তলকীয়** (tetrahedral) এবং (2) **সমতলীয় বর্গাকার** (square planar)।



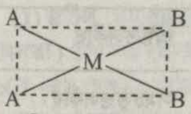
চিত্র 8·17

(1) **চতুস্তলকীয় জ্যামিতিক গঠন** বিন্যাস একটি ঘনকের সাহায্যে দেখানো হল। ঘনকটির কেন্দ্রে কেন্দ্রীয় ধাতুটির (M) স্থান হয় এবং 4টি লিগ্যান্ড, 4টি তলের বিপরীত কোণগুলিতে স্থান পায়। **যখন লিগ্যান্ডগুলির আকার বড়ো হয় যেমন, আয়োডাইড, ব্রোমাইড, ক্লোরাইড ইত্যাদি—সেক্ষেত্রে চতুস্তলকীয় জটিল যৌগ উৎপন্ন হয়।** নোবল গ্যাসের ইলেকট্রন বিন্যাস বিশিষ্ট হলে, ধাতব আয়নগুলির ক্ষেত্রেও (যেমন Au (III), Be (II), এবং অন্যান্য) চতুস্তলকীয় জটিল যৌগ উৎপন্ন হয়। যেসব কেন্দ্রীয় ধাতব আয়নগুলির সর্ববহিস্থ কক্ষে 18টি ইলেকট্রন থাকে যেমন Zn (II), সেগুলিও চতুস্তলকীয় গঠন লাভ করে। সন্ধি মৌলগুলি যেমন Co^{2+} চতুস্তলকীয় গঠন পায়। চতুস্তলকীয় জটিল লবণের কয়েকটি উদাহরণ হল—$[Ni(CO)_4]$, $[Cu(NH_2)_4]^{2-}$, $[Fe(Cl)_4]^{2-}$ ইত্যাদি।

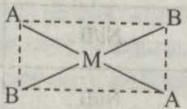
(2) সমতলীয় বর্গাকার গঠন (Square planar) ঃ এই জাতীয় জটিল যৌগের জ্যামিতিক গঠন পাশে দেখানো হল—যেখানে *M* = কেন্দ্রীয় ধাতব আয়ন এবং *A, B, C* এবং *D* হল চারটি লিগ্যান্ড। ধাতব আয়ন সহ এই লিগ্যান্ডগুলি একই সমতলে অবস্থান করে। যখন **লিগ্যান্ডগুলির আকার অপেক্ষাকৃত বড়ো আকারের হয় সেই অবস্থায় এই জাতীয় জটিল লবণ উৎপন্ন হয়।** চতুস্তলকীয় গঠনাকৃতি জটিল যৌগের সংখ্যার তুলনায় সমতলীয় বর্গাকার জটিল যৌগের সংখ্যা খুবই কম। যে ধাতুগুলির *d* অর্বিট্যালে ইলেকট্রন সংখ্যা 8। যেমন Pt (II), Ni (II), Au (III), সেই ধাতব আয়নগুলি সমতলীয় বর্গাকৃতি কমপ্লেক্স যৌগ উৎপন্ন করে। কতকগুলির ক্ষেত্রে কেন্দ্রীয় যে ধাতব আয়নগুলির ইলেকট্রন বিন্যাসে d^7 এবং d^9 আছে তারাও এই জাতীয় জটিল লবণ উৎপন্ন করে।



একটি বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ ধর্ম যা এই জাতীয় কমপ্লেক্স যৌগ দ্বারা প্রদর্শিত হয় তাহল—এই জাতীয় জটিল লবণগুলির জ্যামিতিক আইসোমার আছে। MA_2B_2 গঠনের জটিল লবণের **দুটি আইসোমার** দেখা যায়—**সিস (cis)** এবং **ট্রান্স (trans).**

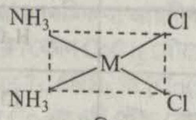


সিস আইসোমার

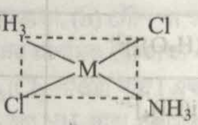


ট্রান্স আইসোমার

যেমন,

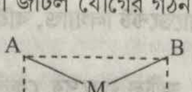


সিস



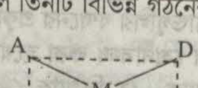
ট্রান্স

এই জাতীয় কোনো জটিল যৌগের গঠন M(A)(B)(C)(D) গঠনের হলে তিনটি বিভিন্ন গঠনের আইসোমার দেয়—



(1)

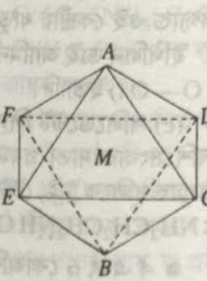




এই জাতীয় জটিল যৌগের উদাহরণ হল—$[Pt\ (NH_3)\ (NH_2OH)\ (NO_2)\ (Py)]$। যেখানে Py হল C_6H_5N.

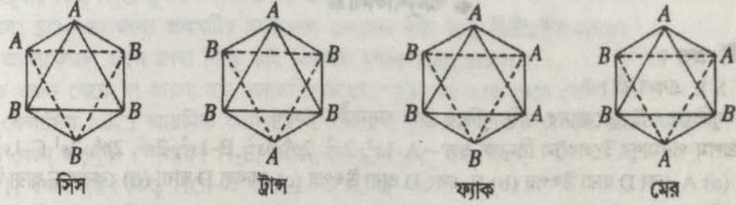
(3) 6-কোঅর্ডিনেসন সংখ্যাবিশিষ্ট জটিল যৌগের গঠন—6-কোঅর্ডিনেসন সংখ্যা বিশিষ্ট কমপ্লেক্স্ যৌগের জ্যামিতিক গঠন সাধারণত অষ্টস্তলকীয় (octahedral) হয়—তবে আকারে কিছুটা বিকৃতি থাকে।

একটি অষ্টস্তলকীয় কমপ্লেক্স *M (A) (B) (C) (D) (E) (F)* যেখানে *M* হল কেন্দ্রীয় ধাতব আয়ন এবং *A, B, C, D, E* এবং *F* হল লিগ্যান্ড—এই কমপ্লেক্স্ লবণটির জ্যামিতিক গঠন পাশে দেখানো হল—যেখানে কেন্দ্রীয় ধাতব আয়ন হল M এবং অষ্টস্তলকের প্রতিটি শীর্ষ বিন্দুতে একটি করে লিগ্যান্ড থাকে।



সমতলীয় বর্গাকৃতির জটিল লবণের অষ্টস্তলকীয় কমপ্লেক্স যৌগগুলিও জ্যামিতিক আইসোমেরিজম দেখাতে সক্ষম হয়। MA_2B_4 জাতীয় জটিল লবণ সিস্ এবং ট্রান্স আইসোমার গঠনে সক্ষম। এটি নির্ভর করে অষ্টস্তলকটির শীর্ষবিন্দুতে A লিগ্যান্ডের অবস্থানের উপর—A লিগ্যান্ড দুটি পর পর অবস্থান করবে না একে অপরের বিপরীত পার্শ্বে অবস্থান করবে তার উপর।

যেমন, $M A_3 B_3$ গঠনের জটিল লবণ দু'রকম আইসোমার গঠন করে। যথা—*fac* এবং *mer* আইসোমার। *fac* আইসোমারে *A* এবং *B* লিগ্যান্ডগুলি এমনভাবে বিন্যস্ত থাকে যে ওদের যোগ করলে অষ্টতলকের একটি তলের উপর সমবাহু ত্রিভুজ উৎপন্ন করে। 'মের' (mer) আইসোমারের তিনটির মধ্যে দুটি বিশেষ জাতীয় লিগ্যান্ড পরস্পরের 'ট্রান্স' অবস্থানে থাকে।



● এক-নিউক্লিয় কোঅর্ডিনেট কমপ্লেক্স-এর I.U.P.A.C. পদ্ধতিতে নামকরণ (IUPAC nonmenclature of bond nuclear coordination complexes) ঃ

I.U.P.A.C. দ্বারা অনুমোদিত অসমযোজী জটিল যৌগগুলির (coordinate complex) নামকরণের পদ্ধতি নীচে দেওয়া হল—

(1) লিগ্যান্ডের জন্য নিয়ম—I.U.P.A.C. পদ্ধতি অনুযায়ী অতি প্রচলিত কতকগুলি লিগ্যান্ডের নাম হল, NH_3-কে অ্যামিন, H_2O-কে অ্যাকোয়া, CO-কে কার্বনিল, NO-কে নাইট্রোসিল।

(a) অ্যানায়নিক লিগ্যান্ড—লিগ্যান্ডটি অ্যানায়নিক হলে অ্যানায়নটির নামের শেষে 'O' যোগ করা হয়। যেমন O^{2-} হল **'অক্সো'**, OH-কে **হাইড্রোক্সো**, NO_2-কে **নাইট্রাইটো**, SO_4^{2-}-কে **সালফেটো**, SO_3^{2-}-কে **সালফাইটো**, CN^--কে **সায়ানো**, $S^=$-কে **সালফাইডো**, CH_3COO-কে **অ্যাসিটেটো**, ইত্যাদি বলা হয়।

(b) জৈব লিগ্যান্ডের নামকরণ—জৈব মূলকগুলির নিজ নিজ নাম দ্বারাই প্রকাশিত হয়, কিন্তু জৈব অণুগুলির ক্ষেত্রে ওদের নামের মধ্যে কোনো স্থান ফাঁকা রাখা হয় না—পুরো নামটা একসাথে লিখতে হয়। যেমন CH_3-কে মিথাইল, C_2H_6-কে ইথাইল, C_6H_7-কে ফিনাইল ইত্যাদি রূপে প্রকাশ করা হয়।

(c) যদি N_2 বা O_2 লিগ্যান্ড হয় তাহলে ওদেরকে যথাক্রমে নাইট্রোজেন এবং ডাইঅক্সিজেন রূপে নামকরণ করা হয়।

(2) কেন্দ্রীয় ধাতুর নামকরণের নিয়ম—

যদি জটিল লবণের কেন্দ্রীয় ধাতুটি প্রশম অথবা ক্যাটায়নিক হয়, তাহলে IUPAC নামকরণে ধাতুটির ইংরেজি নামের শেষে ধাতুটির জারণ অবস্থাকে ব্রাকেটের মধ্যে রোমান সংখ্যায় লিখতে হয়। যেমন, আয়রন (II), কপার (II), ক্রোমিয়াম (III), নিকেল (0) ইত্যাদি।

যদি জটিল লবণটি অ্যানায়নিক হয়, তাহলে কেন্দ্রীয় ধাতুটির ল্যাটিন নামের শেষে 'এট্' শব্দটি যোগ করে শেষে সংশ্লিষ্ট ধাতুটির জারণ অবস্থাকে রোমান সংখ্যা দ্বারা ব্রাকেটের মধ্যে লিখে প্রকাশ করা হয়, যেমন, ফেরেট (II), কিউপ্রেট (II), আর্জেনটেট (I) ইত্যাদি। যেমন, $K_3[Fe(CN)_6]$-এর নাম পটাশিয়াম হেক্সাসায়ানোফোরেট (III), $K_4[Ni(CN)_4]$-পটাশিয়াম টেট্রাসায়ানো নিকেলেট (O)।

(3) যদি কোনো নির্দিষ্ট লিগ্যান্ড একের বেশি সংখ্যায় উপস্থিত থাকে, তাহলে নামের আগে prefix রূপে, দুটি ওই নির্দিষ্ট লিগ্যান্ড থাকলে '*di*' বা '*bis*' (বিস্), তিনটি থাকলে '*tri*' বা '*tris*' (ট্রিস্), 4টি থাকলে '*tetra*' বা '*tetrakis*' ব্যবহার করতে হয়। সাধারণত সংখ্যাগুলিকে প্রকাশ করার জন্য ডাই, ট্রাই, টেট্রা ইত্যাদি ব্যবহার করা হয়। তবে জৈব লিগ্যান্ডের ক্ষেত্রে অবশ্যই '*bis*', '*tris*', '*tetrakis*' শব্দগুলি ব্যবহার করতে হবে।

(4) লিগ্যান্ডগুলিকে লিখে প্রকাশ করার ক্রম—IUPAC নিয়ম অনুযায়ী জটিল লবণের নাম লিখে প্রকাশ করার সময়, নামকরণে লিগ্যান্ডের নাম প্রথমে লিখতে হয় এবং শেষে কেন্দ্রীয় ধাতুর নাম লিখতে হয়। প্রশম লিগ্যান্ড থাকলে প্রথমে প্রশম লিগ্যান্ডকে লিখতে হয় তারপর অ্যানায়নিক লিগ্যান্ডের নাম ইংরেজি বর্ণমালার ক্রম অনুযায়ী পরপর লিখতে হবে।

উপরে বর্ণিত নিয়ম অনুসারে কতকগুলি জটিল যৌগের IUPAC নামকরণ এখানে দেওয়া হল—

(i) $[Co(NH_3)_4Cl_2]^+Cl^-$—টেট্রা-অ্যামিন ডাইক্লোরো কোবাল্ট (III) ক্লোরাইড।

(ii) $[Co(NH_3)_6]Cl_3$—হেক্সাঅ্যামিন কোবাল্ট (III) ক্লোরাইড।

(iii) $K_3[Co(CN)_6]$—পটাশিয়াম হেক্সাসায়ানো কোবাল্ট (III)

(iv) $[Co(NH_3)_6]Cl_3$—হেক্সাঅ্যামিন কোবাল্ট (III) ক্লোরাইড।

(v) $[Ni(CO)_4]$—টেট্রা কার্বনিল নিকেল (0)

(vi) $K[Cu(CN)_2]$—পটাশিয়াম ডাইসায়নো কিউপারেট (I)

● অনুশীলনী ●

[A] অতিসংক্ষিপ্ত উত্তরধর্মী প্রশ্ন ঃ

(1) দ্বি মেরু ভ্রামকের S.I. একক কী?

(2) O, F, S, Cl, N-গুলিকে হাইড্রোজেনের শক্তি বৃদ্ধির ক্রম অনুযায়ী সাজাও।

(3) A, B, C, D, E প্রশম পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাস হল—A-$1s^2$, $2s^2$, $2p^6$ $3s^2$, B-$1s^2$, $2s^2$, $2p^6$, $3s^1$ C-$1s^2$ $2s^2$ $2p^1$ D- $1s^2$ $2s^2$ $2p^6$ E-$1s^2$, $2s^2$, $2p^6$, (a) A এবং D দ্বারা উৎপন্ন (b) B এবং D দ্বারা উৎপন্ন (c) কেবল D দ্বারা (d) কেবল E দ্বারা উৎপন্ন পদার্থগুলির সরল সংকেত লেখ।

(4) নীচের যৌগগুলির যেগুলিতে S অষ্টক সূত্র মান্য করে না তাদের চিহ্নিত করো— SO_2, SF_2, SF_4, SF_6

(5) দুটি শর্তের উল্লেখ করো যা পূর্ণ হলে একটি অণুতে H বন্ধন ঘটে।

(6) CH_4, C_2H_2, CO_2—অণুগুলির আকার বল।

(7) sp^3, sp^2 এবং sp সংকরায়ণ দ্বারা উৎপন্ন হয়।

(8) কোন ইলেকট্রনগুলি রাসায়নিক বন্ধন গঠনে অংশ নেয়।

(9) আয়নীয় যৌগে পরমাণুগুলিকে একত্রে ধরে রাখে কী জাতীয় আকর্ষণ বল?

(10) নীচের কোনগুলি তড়িৎযোজী এবং কোনগুলি সমযোজী যৌগ উল্লেখ করো—$MgCl_2$, NH_3, CH_3, CaO, HCl, C_2H_2

(11) নিষ্ক্রিয় গ্যাসগুলি নিষ্ক্রিয় কেন?

(12) $[Co(NH_3)_3Cl]$ Cl_2 এর IUPAC নাম কী?

(13) অষ্টক সূত্রের দুটি ব্যতিক্রম উল্লেখ করো।

(14) লিগ্যান্ড কাকে বলে? উদাহরণ দাও।

[B] সংক্ষিপ্ত উত্তরধর্মী প্রশ্ন ঃ

(1) ইলেকট্রনীয় যোজ্যতা ও সমযোজ্যতার সংজ্ঞা কী? ইলেকট্রনীয় এবং সমযোজী বন্ধনের মধ্যে পার্থক্য দেখাও।

(2) পরমাণুর ইলেকট্রন-বিন্যাস এবং যোজ্যতার মধ্যে সম্পর্ক কী? অষ্টক সূত্রটি কী?

(3) (a) তড়িৎযোজী যৌগের বৈশিষ্ট্যগুলি উল্লেখ করো। **(b)** অ্যামোনিয়া ও হাইড্রোজেন সালফাইড অণুর ইলেকট্রনীয় গঠন লেখ।

4. (a) যৌগগুলির কেন্দ্রীয় পরমাণুর সর্ববহিস্থ কক্ষে ইলেকট্রন সংখ্যা নির্ণয় করো—BF_3, NH_3, SF_6, PCl_5, ICl_3, $BeCl_2$.

(b) নীচের যৌগগুলির মধ্যে কী জাতীয় বন্ধন বর্তমান—

(i) CO_2, **(ii)** $MgCl_2$, **(iii)** C_2H_4, **(iv)** HCl, **(v)** NaH, **(vi)** H_2O_2, **(vii)** O_2.

5. 'আয়নীয় যৌগে প্রকৃতপক্ষে কোনো স্থায়ী বন্ধন বিরাজ করে না'—এই কথা বলা হয় কেন?

6. নীচের প্রশ্নগুলির উত্তর দাও—

(i) Cl_2 অণু সম্ভব কিন্তু Ne_2 অণু সম্ভব নয় কেন? **(ii)** Na এবং H দুটি মৌলই ইলেকট্রো-পজিটিভ। Cl-এর সঙ্গে Na-এর বিক্রিয়ায় তড়িৎযোজী যৌগ উৎপন্ন হয় কিন্তু Cl-এর সঙ্গে H-এর বিক্রিয়ায় সমযোজী যৌগ গঠন করে কেন? **(iii)** দুই রকম হাইড্রোজেন বন্ধনীর উদাহরণ দাও। **(iv)** ক্লোরোফর্ম ধ্রুবীয় হলেও কিন্তু কার্বন টেট্রাক্লোরাইড ধ্রুবীয় নয় কেন?

7. (a) সমযোজী বন্ধন কখন ধ্রুবীয় হয়? **(b)** প্রদত্ত যৌগগুলির বন্ধন প্রকৃতি নির্দেশ করো—

K_2O, Mg_3N_2, Cl_2O, N_2, MgO, HCl গ্যাস। **(c)** নীচেরগুলির কোনগুলি ধ্রুবীয়—BF_3, NH_3, H_2S, CO_2, N_2O **(d)** HBr অণুর ডাইপোল মোমেন্ট $2{\cdot}60 \times 10^{-30}$ কুলম্ব মিটার। H এবং Br পরমাণুদ্বয় দূরত্ব 1·41 Å. HBr অণুর মধ্যে আয়নীয় প্রকৃতির শতকরা মাত্রা কত? **[*Ans.* 11·5%]**

8. (a) ইক্ষু শর্করা একটি সমযোজী যৌগ তথাপি এটি ধ্রুবীয় দ্রাবক জলে দ্রবীভূত হয়—কেন?

(f) NF_3 এবং NH_3-এর মধ্যে কে বেশি ধ্রুবীয় এবং কেন?

9. নীচের প্রশ্নগুলি যুক্তিসহ উত্তর দাও—

(i) Na এবং H উভয় পর্যায় সারণীর IA শ্রেণিভুক্ত, অথচ NaCl-এর গলনাঙ্ক 800°C এবং HCl-এর গলনাঙ্ক—114°C কেন?

(ii) HF-এ হাইড্রোজেন বন্ড দেখা যায় কিন্তু HBr-এ দেখা যায় না কেন? **(iii)** H_2O-এর তুলনায় H_2S-এর স্ফুটনাঙ্ক অনেক কম, HF-এর চেয়ে HCl-এর স্ফুটনাঙ্ক কম কেন? **(iv)** অ্যাসেটিক অ্যাসিড এবং ইথাইল অ্যালকোহল সমযোজী যৌগ হলেও মেরুধর্মী দ্রাবক জলে দ্রবীভূত হয় কেন? **(v)** NaCl অনুদ্বায়ী কঠিন পদার্থ কিন্তু HCl গ্যাসীয় পদার্থ কেন? **(vi)** অসমযোজ্যতাকে, সমযোজ্যতার একটি বিশেষ ধরন বলা হয় কেন? **(vii)** S এবং O একই গ্রুপের হলেও ঘরের উষ্ণতায় H_2S একটি গ্যাস কিন্তু H_2O তরল পদার্থ কেন?

10. কারণ ব্যাখ্যা করো—

(i) H_2O, HCl এবং NH_3-এর মধ্যে H_2O-এর স্ফুটনাঙ্ক সবচেয়ে বেশি এবং HCl-এর স্ফুটনাঙ্ক সবচেয়ে কম কেন?

(ii) ধ্রুবীয় (non-polar) দ্রাবকে ধ্রুবীয় দ্রাব দ্রবীভূত হয় কিন্তু ধ্রুবীয় (polar) দ্রাব দ্রবীভূত হয় না।

(iii) CO_2 অধ্রুবীয় কিন্তু N_2O ধ্রুবীয় যদিও উভয় অণুই সরলরৈখিক।

(iv) CO_2 এবং SO_2-এর মধ্যে প্রথমটির ডাইপোল মোমেন্ট নাই কিন্তু দ্বিতীয়টির আছে।

(v) ইথাইল অ্যালকোহল জলে দ্রাব্য কিন্তু ডাই মিথাইল ইথার জলে অদ্রাব্য।

(vi) আণবিক ওজন থেকে যা ধারণা হয়, অ্যালডিহাইডের স্ফুটনাঙ্ক তার চেয়ে বেশি কেন?

(vii) কঠিন কেলাসিত NaCl আয়নিত অবস্থায় থাকলেও তড়িৎ পরিবহণ করে না—ব্যাখ্যা করো।

(viii) নীচের কোন্ অণুগুলি পোলার? H_2S, BCl_3, CCl_4, C_2H_6 এবং CO.

(ix) HF-এ H বন্ধন সম্ভব কিন্তু HCl-এ বা HBr বা HI-এ নয়।

(x) অর্থো-হাইড্রক্সি বেঞ্জালডিহাইড এবং প্যারা-হাইড্রক্সি বেঞ্জালডিহাইডের মধ্যে কোনটি জলে বেশি দ্রবীভূত হয় এবং কেন?

(xi) H_2SO_4-এর উচ্চ স্ফুটনাঙ্কের কারণ কী হতে পারে?

(xii) NH_3 এবং H_2O-এর অণুগুলি sp^3 সংকরায়ণের মাধ্যমে গঠিত হলেও ওদের বন্ধন কোণ স্বাভাবিক সমচতুস্তলক কোণের চেয়ে কম হয়।

(xiii) কার্বনের সর্ববহিঃস্থ উপকক্ষে মাত্র দুটি ইলেকট্রন থাকা সত্ত্বেও জৈব যৌগে কার্বন চতুর্যোজী।

(xiv) N এবং Cl-এর ইলেকট্রো-নেগেটিভিটি সমান হওয়া সত্ত্বেও Cl কার্যকরী H-বন্ধন গঠন করতে পারে না।

(xv) অর্থো নাইট্রোফেনলের স্ফুটনাঙ্ক কম, সহজে পাতিত হয় অথচ প্যারা নাইট্রোফেনল সহজে পাতিত হয় না।

11. হাইড্রোজেন বন্ধন বলতে কী বুঝ উদাহরণ দিয়ে বুঝিয়ে দাও। এই রকম বন্ধন কীভাবে সৃষ্টি হয়? নীচের যৌগগুলির কোনগুলির মধ্যে H-বন্ধন থাকতে পারে? **(i)** H_2O, CH_3I, $CHCl_3$. **(ii)** NH_3, HCl, HF, CH_3COOH, $CHCl_3$, HCHO, C_6H_6, HNO_3.

12. মৌলের ইলেকট্রো-নেগেটিভিটি কীভাবে দুটি ভিন্ন পরমাণুর মিলনে উৎপন্ন বন্ধনকে প্রভাবিত করে উদাহরণ দিয়ে বুঝিয়ে দাও। দুটি মৌল *A* এবং *B* উভয়ই উচ্চ তড়িৎ ঋণাত্মক। সেক্ষেত্রে *A*—*B* বন্ধনের সম্ভাব্য প্রকৃতি কী হতে পারে? [***H.S. 2001***]

13. NH_3-এর স্ফুটনাঙ্ক HCl-এর চেয়ে বেশি কেন?

14. **(i)** H বন্ধনীকে X — H …… Y হিসাবে লিখলে ভগ্ন অভগ্ন রেখা কী প্রকাশ করে? কোনটি ক্ষুদ্রতর এবং কেন? **(ii)** বন্ধনগুলির স্থায়ীত্বের উর্ধ্বক্রম অনুসারে সাজাও—সমযোজী বন্ধন, হাইড্রোজেন বন্ধন, দ্বিমেরু-দ্বিমেরু আকর্ষণ, ভ্যান্ডারওয়াল বল। [**Hints :** ভ্যান্ডারওয়াল বল < দ্বিমেরু-দ্বিমেরু আকর্ষণ < H-বন্ধন < সমযোজী বন্ধন]

15. (a) নীচের পদার্থগুলির ইলেকট্রনীয় (ডট দ্বারা) গঠন দেখাও—C_2H_2, H_2O, N_2, SO_2.

(b) যৌগগুলির কোনগুলি ধ্রুবীয় এবং কোনগুলি ধ্রুবীয় নয় তা বল— BF_2; NH_3; CO_2; SO_2; N_2O; N_2.

(c) $SnCl_2$, $SnCl_4$, SnF_2, SnF_4, এবং $SiCl_4$-এর মধ্যে কোনটি ন্যূনতম কোভ্যালেন্ট?

(d) H, C, Si, O, Cl এবং N-এর মধ্যে কোনটি সর্বাধিক ইলেকট্রো-নেগেটিভ?

16. VSEPR সূত্রগুলি বিবৃত করো এবং উদাহরণ সহ ব্যাখ্যা করো।

17. আন্তঃরাণবিক হাইড্রোজেন বন্ধন এবং অন্ত-অণু H-বন্ধন অর্থাৎ অণুর মধ্যস্থ হাইড্রোজেন বন্ধনের একটি করে উদাহরণ দাও।

18. সমযোজ্যতার নির্দিষ্ট অভিমুখ আছে কিন্তু তড়িৎযোজ্যতার ক্ষেত্রে তা নয় কারণ ব্যাখ্যা করো।

19. HF অণুর দ্বিমেরু ভ্রামকের মান 2·00 D. HF বন্ধনীর দৈর্ঘ্য 0·92 Å. HF বন্ধনীর শতকরা আয়নীয়তার মাত্রা নির্ণয় করো। [***Ans.*** 45·3%]

20. একটি অণুর উদাহরণ দাও যেখানে কেন্দ্রীয় মৌলটির বহিঃকক্ষে ইলেকট্রন সংখ্যা আটের কম। [***Ans.*** BF_3]

21. (i) যুগ্ম লবণ কাকে বলে? এই লবণের একটি উদাহরণ দাও। **(ii)** একটি জটিল লবণ ও যুগ্ম লবণের মধ্যে পার্থক্য নিরুপণ করবে কীভাবে? **(iii)** অসমযোজী জটিল যৌগ সম্পর্কে ওয়ার্নারের তত্ত্বগুলি বলো এবং ব্যাখ্যা করো।

22. নীচের দুটি জটিল গঠনের পার্থক্য কীভাবে নির্ণয় করবে? **(1)** $[Co(NH_3)_5\ SO_4]$ Br এবং $[Co(NH_3)_5\ SO_4]$ Br

● **নৈর্ব্যক্তিক প্রশ্ন ঃ**

সঠিক উত্তর বা উত্তরগুলি নির্দেশ করো ঃ

(i) যে অণুটির গঠন সমচতুস্থলকীয় তাহল **(a)** C_2H_2, **(b)** H_2O, **(c)** C_2H_4, **(d)** CH_4 [*Ans.* (d)]

(ii) H-বন্ধন সবচেয়ে তীব্র হয় **(a)** O—H···S, **(b)** S—H···O, **(c)** F—H···F, **(d)** F—H···O এর মধ্যে। [*Ans.* (c)]

(iii) যে অণুটির ডাইপোল মোমেন্ট শূন্য সেটি হল—**(a)** CH_2Cl_2, **(b)** BF_3, **(c)** NF_3, **(d)** ClO_2. [*Ans.* (b)]

(iv) যে অণুটির ডাইপোল মোমেন্ট শূন্য সেটি হল— **(a)** NH_3, **(b)** $CHCl_3$, **(c)** H_2O, **(d)** CCl_4. [*Ans.* (d)]

(v) হাইড্রোজেন বন্ধন সর্বোচ্চ হয়—**(a)** ইথানলে, **(b)** ডাই ইথাইল ইথারে, **(c)** ইথাইল ক্লোরাইডে, **(d)** ডাই ইথাইল অ্যামিনে। [*Ans.* (a)]

(vi) নীচের কোন্‌টি জলে দ্রবীভূত হবে? (a) CS_2, (b) C_2H_5OH, (c) CCl_4, (d) CH_2Cl_3. [*Ans.* (b)]

(vii) দুটি সমযোজী বন্ধনের মাঝের কোণটি বড়ো হবে কোন্‌টির ক্ষেত্রে? (a) H_2O, (b) SO_2, (c) NH_3, (d) CH_4 [*Ans.* (d)]

(viii) নীচের অণুগুলির মধ্যে দুটি পাশাপাশি কার্বন পরমাণুর মধ্যে বন্ধন দূরত্ব কোন্‌টির সবচেয়ে বেশি?
(a) ইথেন, (b) মিথেন, (c) ইথাইন, (d) বেঞ্জিন। [*Ans.* (a)]

(ix) যদি একটি অণু MX_3-এর ডাইপোল মোমেন্ট শূন্য হয় তাহলে M (At. No. 21) দ্বারা সিগমা বন্ধন অর্বিট্যাল হবে—
(a) বিশুদ্ধ *p*, (b) *sp* হাইব্রিড, (c) sp^2 হাইব্রিড, (d) sp^3 হাইব্রিড। [*Ans.* (c)]

(x) নীচের কোন্‌টির গঠন সরলরৈখিক? (a) CCl_4, (b) SO_2, (c) C_2H_2, (d) C_2H_4. [*Ans.* (c)]

(xi) নীচের যেটির গঠন সরলরৈখিক (a) CO_2, (b) NO_2, (c) SO_2, (d) ClO_2 বা SiO_2. [*Ans.* (a)]

(xii) নীচের কোন্‌গুলির কেন্দ্রীয় পরমাণুর মধ্যে নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন জোড় বর্তমান?
(a) CH_4, (b) NH_3, (c) CCl_4, (d) H_2O. [*Ans.* (b), (d)]

(xiii) নীচের কোন্ অণুগুলির গঠন CO_2-এর গঠনের মত? (a) $HgCl_2$, (b) $SnCl_2$, (c) C_2H_2, (d) NO_2. [*Ans.* (a), (c)]

(xiv) 1টি *s* এবং 1টি *p* অর্বিট্যালের সংকরায়ণের ফলে আমরা পাই—
(a) দুটি পরস্পর লম্বভাবে অবস্থিত অর্বিট্যাল, (b) দুটি অর্বিট্যাল 180° কোণে অবস্থিত, (c) 4টি অর্বিট্যাল যারা সমচতুস্তলকের শীর্ষের দিকে প্রসারিত, (d) 3টি অর্বিট্যাল যারা সমতলে অবস্থিত। [*Ans.* (b)]

(xv) যখন কম আয়নীভবন বিভব বিশিষ্ট একটি মৌলের সঙ্গে উচ্চ ইলেকট্রন আসক্তি বিশিষ্ট অপর এক মৌলের বিক্রিয়া ঘটানো হয় তখন (a) দুর্বল আয়নীয় বন্ধনের সৃষ্টি হয়, (b) তীব্র আয়নীয় বন্ধনের সৃষ্টি হয়, (c) পোলার সমযোজী বন্ধনের সৃষ্টি হয়, (d) কোনো বন্ধনের সৃষ্টি হয় না। [*Ans.* (b)]

(xvi) যে আয়নটি CO-এর আইসো ইলেকট্রনিক (a) CN^-, (b) O_2^+, (c) O_2^-, (d) N_2^+ [*Ans.* (a)]

(xvii) N_2-এর বন্ড গঠনে নিযুক্ত মোট ইলেকট্রনের সংখ্যা (a) 2, (b) 4, (c) 6, (d) 10. [*Ans.* (c)]

(xviii) NH_4Cl অণুর গঠনে যে জাতীয় বন্ধন উপস্থিত থাকে— (a) শুধু আয়নীয়, (b) শুধু সমযোজী, (c) কেবল সমযোজী এবং অসমযোজী, (d) আয়নীয়, সমযোজী এবং অসমযোজী। [*Ans.* (d)]

(xix) নীচের কোন্‌টির মধ্যে সমযোজী এবং আয়নীয় উভয় প্রকৃতির বন্ধন উপস্থিত?
(a) CCl_4, (b) $CaCl_2$, (c) NH_4Cl, (d) H_2O. [*Ans.* (c)]

(xx) নীচের বন্ধনগুলির কোন্‌টি তীব্র আয়নীয় হয়? (a) Cs—Cl, (b) Al—Cl, (c) C—Cl, (d) H—Cl. [*Ans.* (a)]

(xxi) অষ্টক সূত্রটি কোন্‌টির ক্ষেত্রে প্রযোজ্য নয়? (a) CO_2, (b) H_2O, (c) O_2, (d) CO. [*Ans.* (d)]

(xxii) নীচের কোন্‌টিতে আয়নীয়, সমযোজী এবং অসমযোজী বন্ধন উপস্থিত?
(a) H_2O, (b) NH_3, (c) NaCN, (d) KBr. [*Ans.* (c)]

(xxiii) নীচের কোন্‌টির মধ্যে অসমযোজ্যতা আছে? (a) NH_4^+, (b) $BaCl_2$, (c) HCl, (d) H_2O. [*Ans.* (a)]

(xxiv) নীচের কোন্‌গুলির গঠন আইসো ইলেকট্রনীয়? (I) CH_3 (II) H_3O^+ (III) NH_3 (IV) CH_3^-
(a) I & II, (b) III & IV, (c) I & II, (d) (II) III & IV. [*Ans.* (b), (d)]

(xxv) নিম্নলিখিত অণুগুলির মধ্যে কোন্‌টির মধ্যে sp^3 সংকরায়ণ উপস্থিত?
(a) XCO_3, (b) BCl_3, (c) BBr_3, (d) XCF_4 [*Ans.* (a)]

(xxvi) সর্বাপেক্ষা শক্তিশালী বন্ধন কোন্‌টির মধ্যে উপস্থিত? (a) F—F, (b) Cl—F, (c) F—Br, (d) Cl—Br. [*Ans.* (a)]

(xxvii) নিম্নলিখিতগুলির মধ্যে কোন দুটির একই আকৃতি উপস্থিত?
(a) XCF_2, IF_2, (b) NH_3, BF_3, (c) PCl_5, ICl_5, (d) CO_3^-, SO_3^- [*Ans.* (a)]

উচ্চমাধ্যমিক

রসায়ন

[দ্বিতীয় পত্র]

(ix) [illegible] (d) CH_2Cl_2 [*Ans.* (b)]

(x) [illegible] (a) H_2O, (b) SO_2, (c) NH_3, (d) CH_4 [*Ans.* (d)]

(xi) [illegible] সমযোজী বেশি?
(a) [illegible] [*Ans.* (a)]

(xii) [illegible]
(a) [illegible] [*Ans.* (c)]

(x) [illegible] [*Ans.* (c)]

(xi) [illegible] (c) CO_2 [illegible] [*Ans.* (a)]

(xii) [illegible]
(a) CH_4, (b) NH_3, (c) CO_2, (d) [illegible] [*Ans.* (b), (d)]

(xiii) [illegible] (b) $BeCl_2$, (c) C_2H_2, (d) NO_2 [*Ans.* (a), (c)]

(xiv) [illegible]
(a) [illegible] (c) [illegible]
[illegible] [*Ans.* (b)]

(xv) [illegible]
[illegible] (c) [illegible]
(d) [illegible] [*Ans.* (b)]

(xvi) [illegible] (d) N_2 [*Ans.* (a)]

(xvii) N_2 [illegible] (d) 10 [*Ans.* (c)]

(xviii) NH_4Cl [illegible] (c) [illegible]
[illegible] (d) [illegible] [*Ans.* (c)]

(xix) [illegible]
(a) CCl_4, [illegible] [*Ans.* (c)]

(xx) [illegible] Al—Cl, (c) C—Cl, (d) H—Cl [*Ans.* (a)]

(xxi) [illegible] (c) SO_2, (d) [illegible] [*Ans.* (d)]

(xxii) [illegible]
(a) H_2O, (b) NH_3, (c) [illegible] [*Ans.* (c)]

(xxiii) [illegible] (a) NH_4^+, (b) $BaCl_2$, (c) HCl, (d) H_2O [*Ans.* (a)]

(xxiv) [illegible] (I) [illegible] (II) H_3O^+ (III) NH_3 (IV) [illegible]
(a) I & II, (b) III & IV, (c) I & II, (d) (II) [illegible] [*Ans.* (b), (d)]

(xxv) [illegible]
(a) [illegible] (d) [illegible] [*Ans.* (a)]

(xxvi) [illegible] (a) F—F, (b) Cl—F, (c) F—Br, (d) Cl—Br [*Ans.* (a)]

(xxvii) [illegible]
(a) XCF_2, [illegible] (b) NH_3, [illegible] [*Ans.* (a)]

1 

অধাতব মৌল এবং তাদের যৌগের রসায়ন

[Chemistry of non-metallic elements and their compounds]

• কার্বন •

চিহ্ন—C	পারমাণবিক গুরুত্ব—12	পারমাণবিক সংখ্যা—6
পর্যায় সারণিতে অবস্থান—Gr IVB(14)		ইলেকট্রন বিন্যাস—$1s^2 2s^2 2p^2$

1.1. কার্বনের অবস্থান [Occurrence of carbon]

ভূত্বকে প্রাপ্ত বিভিন্ন মৌলের প্রাচুর্যের দিক দিয়ে বিচার করলে কার্বনের স্থান 17-তম হলেও, পৃথিবীতে কার্বন যৌগের সংখ্যা অবশিষ্ট মৌলগুলি দ্বারা গঠিত যৌগের মোট সংখ্যাকে অনেক ছাড়িয়ে গেছে। এর কারণ হল কার্বন পরমাণুর একটি বিশেষ ধর্ম আছে—যাকে ক্যাটিনেশন ধর্ম বলে। এই ধর্মের জন্য কার্বন পরমাণুগুলি পরস্পরের সাথে একবন্ধন, দ্বিবন্ধন অথবা ত্রিবন্ধন দ্বারা যুক্ত হয়ে বহুসংখ্যক কার্বন পরমাণু বিশিষ্ট মুক্ত শৃঙ্খল বা বন্ধ শৃঙ্খল গঠন করতে পারে। কার্বন পরমাণুর এই ধর্মের জন্যই অসংখ্য জৈব যৌগের উৎপত্তি সম্ভব হয়েছে।

কার্বনকে বিভিন্নরূপে প্রকৃতির মধ্যে পাওয়া যায়। বহুরূপীর মতো এক এক জায়গায় এক এক রূপ নিয়ে আমাদের সামনে অবস্থান করে। কখনো উজ্জ্বল **হীরক**, কখনও কালো **কয়লা**, আবার কখনও নরম পিচ্ছিল **গ্রাফাইটরূপে** বা কখনও লোহার চেয়ে শক্ত **কার্বোনেডোরূপে** কার্বনকে দেখা যায়।

মুক্ত অবস্থায় কার্বনকে হীরক, গ্রাফাইট ও পাথুরে কয়লার আকারে প্রকৃতিতে পাওয়া যায়। **অন্যান্য মৌলের সঙ্গে যুক্ত অবস্থায়—(i)** প্রাণী ও উদ্ভিদদেহের প্রধান উপাদান হল কার্বন। **(ii) হাইড্রোজেনের সঙ্গে যুক্ত অবস্থায়** পেট্রোলিয়াম, মার্স গ্যাস প্রভৃতি প্রাকৃতিক গ্যাসের মধ্যে কার্বন থাকে। **(iii) হাইড্রোজেন ও অক্সিজেনের সঙ্গে যুক্ত অবস্থায়** চিনি, গ্লুকোজ, স্টার্চ প্রভৃতি কার্বোহাইড্রেটের মধ্যে কার্বন থাকে। **(iv) কার্বনেট যৌগরূপে চুনাপাথর** ($CaCO_3$), **ডলোমাইট** ($CaCO_3$, $MgCO_3$), **ক্যালামাইন** ($ZnCO_3$), **সিডারাইট** ($FeCO_3$) প্রভৃতির মধ্যে কার্বন থাকে। **(v)** বায়ুর মধ্যে কার্বন আছে কার্বন ডাই-অক্সাইড গ্যাসরূপে। **(vi)** প্রাণী ও উদ্ভিদের **খাবার প্রোটিনের** মধ্যে অক্সিজেন, হাইড্রোজেন ও নাইট্রোজেনের সঙ্গে যুক্ত অবস্থায় কার্বন থাকে।

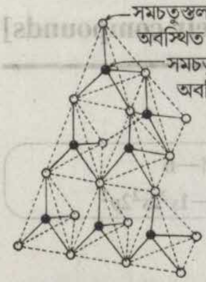
পর্যায় সারণিতে কার্বনের অবস্থান হল গ্রুপ IVB(14), পর্যায় সারণির ডানদিকে *p*-ব্লকে এই গ্রুপটি অবস্থান করে। এই গ্রুপের অন্যান্য মৌলগুলি হল—সিলিকন, জার্মেনিয়াম, টিন এবং লেড। এই গ্রুপের সব মৌলগুলির পরমাণুতে সবচেয়ে বাইরের কক্ষের ইলেকট্রন সংখ্যা = 4 (ns^2, np^2)। তাই সবচেয়ে বাইরের কক্ষের এই 4টি ইলেকট্রন বর্জন করে, বা অন্য পরমাণু থেকে 4টি ইলেকট্রন গ্রহণ করে এই পরমাণুগুলি নিষ্ক্রিয় মৌলের কাঠামো লাভ করে না, কারণ এতে অনেক বেশি শক্তির প্রয়োজন হয়। তাই **এই মৌলগুলির প্রায় সবগুলি সমযোজী এবং এদের যোজ্যতা 4**।

1.2. কার্বনের আইসোটোপ [Isotopes of carbon]

প্রকৃতির মধ্যে প্রাপ্ত কার্বনকে **দুটি স্থায়ী আইসোটোপ** রূপে পাওয়া যায়—যথা—C^{12} **(98·9%)** এবং C^{13} **(1·1%)**। এছাড়া প্রকৃতির মধ্যে কার্বনের **তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ** C^{14} খুব সামান্য পরিমাণে পাওয়া যায়। C^{14}-এর অর্ধায়ুকাল 5770 বছর। এই রেডিও কার্বনের সাহায্যে বহু প্রাচীনকালের কোনো প্রাণী বা কাঠের নমুনার বয়স খুব সহজেই নির্ণয় করা যায়। এছাড়া C^{12} আইসোটোপের ভরের 1/12 অংশের ভরকে একক ধরে অন্য মৌলের পারমাণবিক গুরুত্ব নির্ণয় করা হয়।

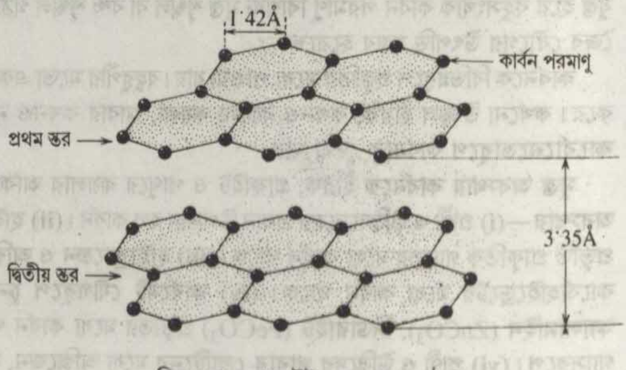
কার্বনের বহুরূপতা ধর্ম দেখা যায়। যে বিশেষ ধর্মের জন্য কোনো মৌলিক পদার্থ তার মূল রাসায়নিক ধর্ম অক্ষুণ্ণ রেখে বিভিন্ন রূপে আত্মপ্রকাশ করতে পারে, সেই ধর্মকে বহুরূপতা বলে। বহুরূপী মৌলের বিভিন্ন রূপকে এর রূপভেদ বলে। কার্বনের কেলাসাকার রূপভেদ হল—**হীরক, গ্রাফাইট** এবং **ফুলারিন**— এই রূপভেদটি হল কেলাসাকার কার্বনের নব আবিষ্কৃত রূপভেদ। কার্বনের অনিয়তাকার রূপভেদগুলি হল—**অঙ্গার** বা **চারকোল, ভুসাকালি, কোক** এবং **গ্যাস কার্বন**। কার্বনের কেলাসাকার রূপভেদ **হীরক হল সবচেয়ে কঠিন মৌল**। অধাতুগুলির মধ্যে কেবল কার্বনের রূপভেদ **গ্রাফাইট** ও **গ্যাস কার্বন** তাপ এবং তড়িতের সুপরিবাহী।

হীরকের কেলাস গঠন ঃ হীরকের কেলাসের মধ্যে প্রতিটি কার্বন পরমাণু সমযোজী সিগমা বন্ধন দ্বারা অপর 4টি C পরমাণুর সাথে যুক্ত থাকে। এই 4টি C পরমাণু সমচতুস্তলকে চারটি শীর্ষবিন্দুতে অবস্থান করে—কেন্দ্রে থাকে একটি করে C পরমাণু—অর্থাৎ প্রতিটি C পরমাণু sp^3 সংকরায়িত অবস্থায় থাকে, এর ফলে প্রতিটি C—C বন্ধন খুব দৃঢ় হয় এবং C—C—C বন্ধন কোণ = 109°48′ হয়। হীরক কেলাসে উপস্থিত C পরমাণুগুলির মধ্যে C—C বন্ধন দূরত্ব খুব কম হয়। হীরকের মধ্যে বিশাল সংখ্যক দৃঢ় C—C সিগমা বন্ধন উপস্থিত থাকায় C পরমাণুগুলির মধ্যে তীব্র আকর্ষণ বল কাজ করে, তাই হীরক হল কঠিনতম মৌল এবং ঘনত্ব বেশি। এই বিশাল সংখ্যক দৃঢ় সমযোজী বন্ধনকে ভাঙ্গাতে বিপুল তাপশক্তির প্রয়োজন—তাই হীরকের গলনাঙ্ক বা স্ফুটনাঙ্ক অনেক বেশি। C পরমাণুগুলির সবগুলি যোজক ইলেকট্রনই সমযোজী বন্ধন সৃষ্টি করার কাজে ব্যবহৃত হয় বলে এর মধ্যে কোনো মুক্ত ইলেকট্রন থাকে না—তাই হীরক তাপ এবং তড়িত অপরিবাহী।



চিত্র 1.1 ঃ হীরকের গঠন

গ্রাফাইটের কেলাস গঠন ঃ গ্রাফাইটের কেলাস কতকগুলি সুষম ষড়ভুজের আকারে সাজানো C পরমাণুর স্তর দ্বারা গঠিত—প্রতিটি ষড়ভুজ স্তরের C পরমাণুগুলি sp^2 সংকরায়িত অবস্থায় থাকে। প্রতিটি স্তরে ষড়ভুজের C পরমাণুগুলি পরস্পরের সাথে C—C সমযোজী বন্ধন দ্বারা আবদ্ধ থাকে। এইভাবে C পরমাণুর দ্বারা গঠিত পর পর অবস্থিত যে-কোনো দুটি স্তরের দূরত্ব, ষড়ভুজের মধ্যস্থ C—C বন্ধন দূরত্বের চেয়ে অনেক বেশি। বিভিন্ন স্তরগুলির মধ্যে যে বন্ধন শক্তি কাজ করে তা হল দুর্বল ভান্ডারওয়াল শক্তি। এই রকম অসংখ্য C পরমাণুর স্তর দিয়ে গ্রাফাইট কেলাস গঠিত হয়। গ্রাফাইট কেলাসে বিভিন্ন স্তরে অবস্থিত C পরমাণুগুলির মধ্যে পারস্পরিক আকর্ষণ বল অনেক কম হওয়ার জন্য সামতলিক স্তরগুলির একটি অন্যটির উপর দিয়ে সহজেই পিছলে যায়। তাই গ্রাফাইট নরম এবং পিচ্ছিল হয়। প্রতি স্তরের 1টি C পরমাণুর 4টি বন্ধনের মধ্যে একটি বন্ধন একই স্তরের 2টি C পরমাণুর মধ্যে σ বন্ধন দ্বারা যুক্ত থাকে। এর ফলে অপর বন্ধন অর্থাৎ π বন্ধনটির ইলেকট্রনগুলি আলগা থাকে। এই আলগা ইলেকট্রন থাকায় গ্রাফাইট তাপ ও তড়িৎ পরিবাহী হয়।



চিত্র 1.2 ঃ গ্রাফাইট কেলাসের গঠন

[একটি ছোটো হীরক খণ্ডকে আয়রনের সঙ্গে সংকরায়িত করা হলে সাধারণ অবস্থায় হীরক গ্রাফাইটে পরিণত হয়। 700°C—1100°C উষ্ণতায় সংকরায়িত করা হলে আয়রন কার্বাইড (Fe_3C) উৎপন্ন হয় যার মধ্যে 6·6% কার্বন থাকে। হীরক এবং গ্রাফাইট যে কার্বনের রূপভেদ এর দ্বারা বুঝা যায়। তাছাড়া বোঝা যায় যে কার্বনের ইলেকট্রোনেগেটিভিটি আয়রনের চেয়ে বেশি।]

• কার্বন ডাইঅক্সাইড •

1630 খ্রিস্টাব্দে **ভন্ হেলমেন্ট** কার্বন ডাইঅক্সাইড আবিষ্কার করেন। বাতাসের মধ্যে কার্বন ডাইঅক্সাইড আছে। বাতাসে কার্বন ডাইঅক্সাইডের পরিমাণ শতকরা 0·03 ভাগ। সন্ধান প্রক্রিয়া এবং জৈব পদার্থের পচনের ফলে প্রকৃতিতে প্রচুর CO_2 উৎপন্ন হয়। কাঠ, খড়, কয়লা প্রভৃতি জৈব পদার্থের দহনে কার্বন ডাইঅক্সাইড উৎপন্ন হয়ে বাতাসে মিশে যায়।

1.3. কার্বন ডাইঅক্সাইড গ্যাসের প্রস্তুতি [Preparation of Carbon dioxide (CO_2)]

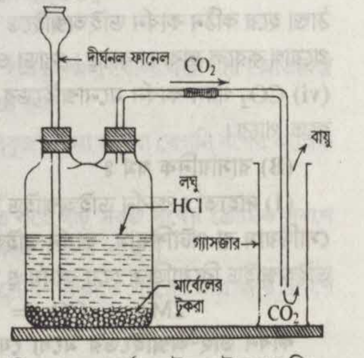
(1) অতিরিক্ত বায়ুর মধ্যে অথবা অক্সিজেনের মধ্যে কার্বন বা কার্বনের যৌগকে অথবা জীবাশ্ম জ্বালানিকে দহন করলে কার্বন ডাইঅক্সাইড উৎপন্ন হয়। $C + O_2 = CO_2$; $C_3H_8 + 5O_2 = 3CO_2 + 4H_2O$

(2) কার্বন ডাইঅক্সাইডের পরীক্ষাগার প্রস্তুতি ঃ

(A) নীতি ঃ সাধারণ উষ্ণতায় ক্যালশিয়াম কার্বনেট বা মার্বেলের সঙ্গে লঘু হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের বিক্রিয়া দ্বারা পরীক্ষাগারে কার্বন ডাইঅক্সাইড উৎপন্ন করা হয়।

$$CaCO_3 + 2HCl = CaCl_2 + CO_2 + H_2O$$

(B) পদ্ধতি ঃ দীর্ঘনল ফানেল ও একটি নির্গম-নলযুক্ত উল্‌ফ বোতলের মধ্যে কিছু মার্বেল টুকরো নিয়ে জল ঢেলে দীর্ঘনল ফানেলের শেষ প্রান্ত এবং মার্বেলের টুকরোগুলিকে জলের মধ্যে ডুবিয়ে রাখা হল। নির্গম-নলের অপর প্রান্তটিকে খাড়াভাবে দাঁড় করানো একটি শুষ্ক গ্যাসজারের মধ্যে প্রবেশ করানো হল। এইবার দীর্ঘনল ফানেলের মধ্য দিয়ে লঘু HCl উল্‌ফ বোতলের মধ্যে ঢালা হল। অ্যাসিড মার্বেলের সংস্পর্শে আসার সাথে সাথে বুদবুদের আকারে CO_2 গ্যাস নির্গত হতে শুরু করে। এই গ্যাস নির্গম-নল দিয়ে বেরিয়ে আসে। **CO_2 গ্যাস বায়ুর চেয়ে প্রায় দেড়-গুণ ভারী, তাই বায়ুর উর্ধ্ব অপসারণ দ্বারা কার্বন ডাইঅক্সাইড গ্যাসজারে জমা হয়।**



চিত্র 1.3 ঃ কার্বন ডাইঅক্সাইড প্রস্তুতি

(C) বিশুদ্ধিকরণ ঃ এভাবে উৎপন্ন কার্বন ডাইঅক্সাইডের মধ্যে হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড এবং জলীয় বাষ্প মিশ্রিত থাকে। গ্যাসটিকে সোডিয়াম বাইকার্বনেট দ্রবণের ভিতর দিয়ে চালনা করলে গ্যাসটি HCl মুক্ত হয়। পরে গাঢ় H_2SO_4-এর মধ্য দিয়ে অতিক্রম করিয়ে জলীয়বাষ্প মুক্ত করার পর পারদের উপর গ্যাসটিকে সংগ্রহ করা হয়।

● **পরীক্ষাগারে CO_2 প্রস্তুতিতে HCl-এর পরিবর্তে H_2SO_4 ব্যবহার করা হয় না** কারণ, চুনাপাথর বা মার্বেলের ($CaCO_3$) সংস্পর্শে H_2SO_4 এলে প্রথম অবস্থায় সামান্য CO_2 উৎপন্ন হলেও, সঙ্গে সঙ্গে $CaCO_3$-এর উপর অদ্রাব্য $CaSO_4$-এর একটি আস্তরণ পড়ে যায়। এই আস্তরণকে ভেদ করে H_2SO_4 আর $CaCO_3$-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করতে পারে না, ফলে বিক্রিয়া বন্ধ হয়ে যায় এবং CO_2-এর উৎপাদন বন্ধ হয়।

$$CaCO_3 + H_2SO_4 = CaSO_4\downarrow + CO_2 + H_2O$$

HCl ব্যবহার করলে $CaCl_2$ উৎপন্ন হয়, যা জল বা অ্যাসিডে দ্রাব্য। তাই HCl ব্যবহার করলে HCl সম্পূর্ণ $CaCO_3$-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে CO_2 উৎপন্ন করতে পারে।

[যে ধাতুগুলির সালফেট লবণ, জল বা লঘু H_2SO_4-এ দ্রাব্য সেই ধাতুর কার্বনেট লবণের সঙ্গে লঘু H_2SO_4-এর বিক্রিয়ায় CO_2 উৎপন্ন হয়—এদের ক্ষেত্রে লঘু H_2SO_4 ব্যবহার করা যায়। যেমন, $K_2CO_3 + H_2SO_4 = K_2SO_4 + CO_2 + H_2O$]

CO_2-কে জলের নিম্ন অপসারণ দ্বারা করা যায় না, কারণ CO_2 গ্যাস জলে দ্রবীভূত হয়ে H_2CO_3 উৎপন্ন করে।

(3) ধাতব কার্বনেটের সঙ্গে লঘু অ্যাসিডের বিক্রিয়ার দ্বারা CO_2 উৎপন্ন করা হয়।

$$PbCO_3 + 2HNO_3 = Pb(NO_3)_2 + H_2O + CO_2\uparrow$$
$$MgCO_3 + 2HCl = MgCl_2 + H_2O + CO_2\uparrow$$

(4) সোডিয়াম বাই-কার্বনেটকে উত্তপ্ত করলে বিয়োজিত হয়ে কার্বন ডাইঅক্সাইড উৎপন্ন হয়। পরীক্ষাগারে এভাবে বিশুদ্ধ CO_2 উৎপন্ন করা হয়। $2NaHCO_3 = NaCO_3 + CO_2 + H_2O$

(5) ক্ষার ধাতুর কার্বনেট এবং বেরিয়াম কার্বনেট ছাড়া অন্যান্য কার্বনেটকে উত্তপ্ত করলে বিয়োজিত হয়ে অক্সাইড ও কার্বন ডাইঅক্সাইড উৎপন্ন করে। এই পদ্ধতিতে চুনের শিল্পোৎপাদনে চুনাপাথরকে চুনের ভাঁটির মধ্যে রেখে 900°C থেকে 1000°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত করলে চুন এবং কার্বন ডাইঅক্সাইড উৎপন্ন হয়। $CaCO_3 = CaO + CO_2$

(6) ইথাইল অ্যালকোহলের শিল্প প্রস্তুতিতে **উৎসেচকের সাহায্যে চিনিজাতীয় পদার্থের সন্ধান প্রক্রিয়ার সময় প্রচুর CO_2** উপজাত দ্রব্যরূপে পাওয়া যায়।

$$\underset{\text{গ্লুকোজ}}{C_6H_{12}O_6} \xrightarrow[35^\circ C]{\text{জাইমেজ}} 2C_2H_5OH + 2CO_2\uparrow$$

(7) শ্বেততপ্ত কোকের উপর দিয়ে স্টিম চালনা করলে ওয়াটার গ্যাস প্রস্তুত হয়। এই ওয়াটার গ্যাসের সঙ্গে 400°C উষ্ণতায় স্টিম মিশিয়ে **ফেরিক অক্সাইড** অনুঘটকের উপর দিয়ে চালনা করলে ওয়াটার গ্যাসের মধ্যস্থ CO, কার্বন ডাইঅক্সাইডে পরিণত হয়। এই গ্যাসমিশ্রণকে পটাশিয়াম কার্বনেট দ্রবণের মধ্য দিয়ে চালনা করলে কার্বন ডাইঅক্সাইড K_2CO_3 দ্রবণ দ্বারা শোষিত হয়ে $KHCO_3$-তে পরিণত হয়। অন্যান্য গ্যাসগুলি (CO, H_2 ইত্যাদি) কোনো বিক্রিয়া না করে বেরিয়ে যায়। উৎপন্ন $KHCO_3$ দ্রবণকে ফুটালে CO_2 গ্যাস পাওয়া যায়।

$$C(s) + H_2O(g) \rightarrow \underset{\text{ওয়াটার গ্যাস}}{CO + H_2}, \qquad \underset{\text{ওয়াটার গ্যাস}}{CO + H_2} + H_2O(g) \rightarrow CO_2 + 2H_2$$

$$K_2CO_3 + CO_2 + H_2O = 2KHCO_3, \qquad 2KHSO_3 = K_2CO_3 + CO_2 + H_2O$$

1.4. কার্বন ডাইঅক্সাইডের ধর্ম [Properties of CO_2]

(A) ভৌত ধর্ম ঃ (i) কার্বন ডাইঅক্সাইড বর্ণহীন, গন্ধহীন, সামান্য অম্ল স্বাদযুক্ত গ্যাস। **(ii)** বাতাসের চেয়ে এই গ্যাস প্রায় দেড়গুণ ভারী। **(iii)** একটি বিশেষ উষ্ণতার চেয়ে কম উষ্ণতার চাপ প্রয়োগ করে কার্বন ডাইঅক্সাইডকে তরলে পরিণত করা যায়। তরল কার্বন ডাইঅক্সাইডকে হিমায়করূপে ব্যবহার করা হয়। **(iv)** তরল কার্বন ডাইঅক্সাইডকে বাষ্পীভূত করলে কিছু অংশ আরও ঠান্ডা হয়ে কঠিন কার্বন ডাইঅক্সাইডে পরিণত হয়। একেই **শুষ্ক বরফ** (Dry-ice) বলে। **(v)** কার্বন ডাইঅক্সাইড জলে দ্রাব্য, চাপ প্রয়োগ করলে দ্রাব্যতা বাড়ে। সোডা ওয়াটার এবং অন্যান্য নরম পানীয় হল অতিরিক্ত চাপে বেশি পরিমাণ CO_2-এর জলীয় দ্রবণ। **(vi)** CO_2 গ্যাস কার্বন মনোক্সাইডের মতো বিষাক্ত নয়, তবে CO_2 শ্বাসকার্যের সহায়ক নয় বলে O_2-এর অভাবে প্রাণীর মৃত্যু হতে পারে।

(B) রাসায়নিক ধর্ম ঃ

(1) দাহ্যতা ঃ কার্বন ডাইঅক্সাইড নিজে দাহ্য নয় বা অন্য কোনো বস্তুকে দহনে সাহায্য করে না। কিন্তু জ্বলন্ত **ম্যাগনেশিয়াম, সোডিয়াম বা পটাশিয়াম, কার্বন ডাইঅক্সাইডে জ্বলতে থাকে**—এগুলির জ্বলনের সময় এতো বেশি তাপ উৎপন্ন হয় যে কার্বন ডাইঅক্সাইড বিয়োজিত হয়ে কার্বন ও অক্সিজেন উৎপন্ন হয়। এই অক্সিজেনই দহনে সাহায্য করে এবং ধাতুগুলিকে জারিত করে।

$$2Mg + CO_2 = 2MgO + C; \qquad 4K + 3CO_2 = 2K_2CO_3 + C$$

কার্বন ডাই-অক্সাইডের মধ্যে যে কার্বন আছে তা এই বিক্রিয়াগুলি দ্বারা প্রমাণিত হয়।

(2) অ্যাসিড ধর্ম ঃ আম্লিক অক্সাইড বলে কার্বন ডাইঅক্সাইডের জলীয় দ্রবণ আম্লিক। জলে দ্রবীভূত হলে **দ্বিক্ষারিক কার্বনিক অ্যাসিড** উৎপন্ন হয়। বিশুদ্ধ অবস্থায় কার্বনিক অ্যাসিড পাওয়া যায় না, কেবল জলীয় দ্রবণেই এই অ্যাসিড পাওয়া যায়। CO_2-কে তাই কার্বনিক অ্যাসিডের অ্যানহাইড্রাইড বলা হয়।

$$CO_2 + H_2O = H_2CO_3; \qquad H_2CO_3 + 2H_2O \rightleftharpoons 2H_3O^+ + CO_3^{2-}$$

(3) ক্ষার এবং ক্ষারকের সঙ্গে ঃ (i) কার্বন ডাইঅক্সাইড, আম্লিক অক্সাইডরূপে ক্ষারকের সঙ্গে বিক্রিয়া করে **বাই-কার্বনেট** বা **কার্বনেট লবণ** উৎপন্ন করে।

$$NaOH + CO_2 = NaHCO_3; \qquad 2NaOH + CO_2 = Na_2CO_3 + H_2O$$

(ii) স্বচ্ছ চুনজলের মধ্য দিয়ে CO_2 অতিক্রম করালে প্রথমে অদ্রাব্য **ক্যালশিয়াম কার্বনেট** উৎপন্ন হয়, ফলে চুনজল ঘোলা হয়ে যায়।

$$\underset{\text{চুনজল}}{Ca(OH)_2} + CO_2 = \underset{\text{অদ্রাব্য}}{CaCO_3}\downarrow + H_2O$$

অতিরিক্ত CO_2 গ্যাস চুন জলের মধ্য দিয়ে চালনা করলে, অদ্রাব্য ক্যালশিয়াম কার্বনেট, **দ্রাব্য ক্যালশিয়াম বাই-কার্বনেটে** পরিণত হয়, ফলে ঘোলা চুনজল আবার স্বচ্ছ হয়।

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O = \underset{\text{দ্রাব্য স্বচ্ছ দ্রবণ}}{Ca(HCO_3)_2}$$

(4) ধাতুর সঙ্গে বিক্রিয়া— CO_2-এর জারণ ক্ষমতা ঃ লোহিততপ্ত লৌহচূর্ণ বা জিঙ্ক চূর্ণের উপর দিয়ে CO_2 গ্যাস চালনা করলে, CO_2 বিজারিত হয়ে কার্বন মনোক্সাইডে পরিণত হয় এবং ধাতুগুলি জারিত হয়ে যথাক্রমে ফেরিক অক্সাইড এবং জিঙ্ক অক্সাইডে পরিণত হয়।

$$2Fe + 3CO_2 = Fe_2O_3 + 3CO; \qquad Zn + CO_2 = ZnO + CO$$

(5) সালোকসংশ্লেষ প্রক্রিয়া ঃ গাছের পাতার কোশ বাতাস থেকে CO_2 শোষণ করে। সূর্যালোক, ক্লোরোফিলের (গাছের পাতায় উপস্থিত সবুজ বর্ণের রং) উপস্থিতিতে CO_2 জলের সঙ্গে যুক্ত হয়ে গ্লুকোজ এবং স্টার্চে পরিণত হয় যেগুলি গাছের খাদ্য রূপে ব্যবহৃত হয়। প্রকৃতির মধ্যে এভাবে কার্বোহাইড্রেট গঠনের প্রক্রিয়াকে **সালোকসংশ্লেষ** (Photosynthesis) বলে।

$$nCO_2 + nH_2O = (CH_2O)n + nO_2$$

$$6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow[\text{সূর্যালোক}]{\text{ক্লোরোফিল}} C_6H_{12}O_6 \text{ (গ্লুকোজ)}$$

(6) অ্যামোনিয়ার সাথে বিক্রিয়া ঃ 220 atm চাপ এবং 200—210°C তাপমাত্রায় CO_2 অ্যামোনিয়ার সঙ্গে বিক্রিয়া করে ইউরিয়া উৎপন্ন করে।

$$CO_2 + 2NH_3 \rightleftharpoons \underset{\text{(অ্যামোনিয়াম কার্বামেট)}}{NH_2CO_2NH_4} \rightleftharpoons \underset{\text{ইউরিয়া}}{NH_2CONH_2} + H_2O$$

(7) জলে প্রলম্বিত জিপসাম চূর্ণের ($CaSO_4$, $2H_2O$) মধ্য দিয়ে অ্যামোনিয়া এবং কার্বন ডাইঅক্সাইড গ্যাস চালনা করলে অ্যামোনিয়াম সালফেট এবং অদ্রাব্য ক্যালশিয়াম কার্বনেট উৎপন্ন হয়। **এই প্রক্রিয়া দ্বারা H_2SO_4-এর সাহায্য ছাড়া অ্যামোনিয়াকে অ্যামোনিয়াম সালফেট লবণে পরিণত করা হয়।**

$$CaSO_4 + 2NH_3 + CO_2 + H_2O = CaCO_3 \downarrow + (NH_4)_2SO_4$$

● কার্বন ডাইঅক্সাইডের শনাক্তকরণ ঃ

স্বচ্ছ চুনজলের মধ্য দিয়ে CO_2 চালনা করলে প্রথমে অদ্রাব্য $CaCO_3$ উৎপন্ন হয়, ফলে স্বচ্ছ চুনজল ঘোলা হয়ে যায়। অতিরিক্ত CO_2 চালনা করলে জলে দ্রাব্য $Ca(HCO_3)_2$ উৎপন্ন হয়, ফলে ঘোলা চুনজল আবার স্বচ্ছ হয়।

আবার CO_2 গ্যাসকে কমলা বর্ণের আম্লিক $K_2Cr_2O_7$ দ্রবণে চালনা করলে দ্রবণের রং সবুজ হয় না অথবা বেগুনি বর্ণের আম্লিক $KMnO_4$ দ্রবণকে বর্ণহীন করে না।

[SO_2 চুনজল ঘোলা করে ($CaSO_3$) এবং আম্লিক কমলাবর্ণের $K_2Cr_2O_7$ দ্রবণকে বিজারিত করে **গাঢ় সবুজ বর্ণের ক্রোমিক লবণে** পরিণত করে। বেগুনি রং-এর আম্লিক $KMnO_4$ দ্রবণকে বিজারিত করে **বর্ণহীন ম্যাঙ্গানাস লবণ** উৎপন্ন করে।]

● কার্বন ডাইঅক্সাইডের শোষক ঃ গাঢ় NaOH বা KOH দ্রবণ CO_2-কে শোষণ করতে পারে। তীব্র ক্ষার দ্রবণে CO_2 শোষিত হয়ে কার্বনেট লবণে পরিণত হয়।

$$2NaOH + CO_2 = Na_2CO_3 + H_2O$$

$Ca(OH)_2$ বা $Ba(OH)_2$-এর জলীয় দ্রবণেও CO_2 শোষিত হয়। $Ba(OH)_2 + CO_2 = BaCO_3 \downarrow + H_2O$

1.5. কার্বন ডাইঅক্সাইডের ব্যবহার [Uses of Carbon dioxide]

(i) উদ্ভিদ জগতের বৃদ্ধি ও স্থিতি CO-এর উপর নির্ভর করে। **(ii)** মাছ, মাংস প্রভৃতি অনেক দিন ধরে সতেজ রাখার জন্য হিমায়করূপে শুকনো বরফ ব্যবহার করা হয়। **(iii)** বাতান্বিত জল এবং নরম পানীয় (Soft drinks) প্রস্তুতিতে CO_2 ব্যবহার করা হয়। দহনের সহায়ক নয় এবং বায়ু অপেক্ষা ভারী বলে আগুন নেভানোর কাজে এই গ্যাসের প্রয়োজন হয়। **(iv)** খাবার সোডা, কাপড় কাচা সোডা, ইউরিয়া প্রভৃতি প্রস্তুতিতে প্রচুর কার্বন ডাইঅক্সাইড ব্যবহৃত হয়। **(v) কার্বোজেন**—95% O_2 এবং 5-10% CO_2-এর মিশ্রণ। নিউমোনিয়া রোগী এবং CO-এর বিষক্রিয়া দ্বারা আক্রান্ত রোগীকে কৃত্রিমভাবে শ্বাসকার্য চালানোর জন্য কার্বোজেন ব্যবহৃত হয়। **(vi)** চিনির শিল্পোৎপাদনে চিনির শোধনে CO_2 ব্যবহৃত হয়।

● শুষ্ক বরফ (Dry ice) ঃ সাধারণ উষ্ণতায় চাপ বাড়িয়ে (প্রায় 60 অ্যাটমোসফিয়ার) কার্বন ডাইঅক্সাইড গ্যাসকে বর্ণহীন তরলে পরিণত করা যায়। এই তরল কার্বন ডাইঅক্সাইডকে স্টিলের সিলিন্ডারে ভর্তি করে রাখা হয়।

এই তরল কার্বন ডাইঅক্সাইডকে হঠাৎ চাপ মুক্ত করে বাষ্পীভূত করলে, তরল CO_2 নিজ দেহ থেকে লীন তাপ নিয়ে গ্যাসে পরিণত হতে থাকে। ফলে তরল CO_2-এর উষ্ণতা ক্রমে কমতে থাকে। এভাবে ঠান্ডা হতে হতে এক সময় তরল CO_2-এর কিছু অংশ জমে কঠিন কার্বন ডাইঅক্সাইডে পরিণত হয়। একে দেখতে ঠিক বরফের মতো সাদা কিন্তু বরফের চেয়ে অনেক বেশি ঠান্ডা। একেই **শুষ্ক বরফ** (Dry ice) বলে। শুষ্ক বরফকে খুব কম উষ্ণতায় এমনকি সাধারণ চাপ ও উষ্ণতায় রাখলেও ঊর্ধ্বপাতিত হয়ে সরাসরি CO_2 গ্যাসে পরিণত হয় বলে সাধারণ বরফের মতো কোনো বস্তুকে ভিজিয়ে দেয় না। এজন্যেই একে শুষ্ক বরফ বলা হয়। হিমায়করূপে এর ব্যবহার প্রচুর। আইসক্রিম তৈরি করতে, মাছ-মাংস সংরক্ষণে এবং কৃত্রিম বৃষ্টিপাত সৃষ্টি করতে শুষ্ক বরফ ব্যবহৃত হয়। পরীক্ষাগারে খুব কম উষ্ণতা (–108ºC) সৃষ্টি করার জন্য শুষ্ক বরফের সাথে অ্যাসিটোন মিশিয়ে শীতলীকারক বাথ রূপে ব্যবহার করা হয়। তরল CO_2-কে কতকগুলি জৈব যৌগের প্রাকৃতিক উৎস থেকে নিষ্কাশিত করার জন্য দ্রাবক রূপে ব্যবহার করা হয়। এই পদ্ধতিতে ফুল থেকে ফুলের সুগন্ধি এবং কফি বীজ থেকে ক্যাফিন নিষ্কাশন করা হয়।

● CO_2-এর গঠন সংকেত ঃ

CO_2-এর গঠন আকৃতি সরল রৈখিক O = C = O। C পরমাণুর দুই বিপরীত পাশে দুটি O পরমাণু আছে বলে এর কোনো ডাইপোল মোমেন্ট নেই, কারণ একদিকের C—O মোমেন্ট অপরদিকের C—O মোমেন্ট দ্বারা প্রশমিত হয়, ফলে নীট ডাইপোল মোমেন্ট শূন্য হয়।

$$O = C = O \text{ বা } :\ddot{O}::C::\ddot{O}:$$

• কার্বন মনোক্সাইড •

জৈব পদার্থের দহনের সময় বাতাসের অভাব ঘটলে, কার্বন মনোক্সাইড উৎপন্ন হয়। জ্বলন্ত উনুনে বা বুনসেন বার্নারে যে নীল রং-এর শিখা দেখা যায়, কার্বন মনোক্সাইড জ্বলে এই নীল শিখা উৎপন্ন হয়। ক্রুইকশ্যাঙ্ক 1800 সালে কার্বন মনোক্সাইডের গঠন নির্ণয় করেন এবং এই গ্যাসে কার্বন এবং অক্সিজেনের সন্ধান পান।

1.6. কার্বন মনোক্সাইডের প্রস্তুতি [Preparation of Carbon monoxide]

(1) প্রস্তুতি ঃ (a) কার্বন এবং কার্বন ঘটিত জ্বালানির অসম্পূর্ণ দহনের ফলে কার্বন মনোক্সাইড উৎপন্ন হয়। মোটর গাড়িতে পেট্রোল বা ডিজেলের অসম্পূর্ণ দহনের ফলে CO উৎপন্ন হয়। $2C + O_2 = 2CO$

(b) ভারী ধাতুর অক্সাইডের বিজারণের ফলে CO উৎপন্ন হয়, যেমন—

$$ZnO + C = Zn + CO\uparrow; \qquad Fe_2O_3 + 3C = 2Fe + 3CO\uparrow$$

(2) কার্বন মনোক্সাইড-এর পরীক্ষাগার প্রস্তুতি ঃ

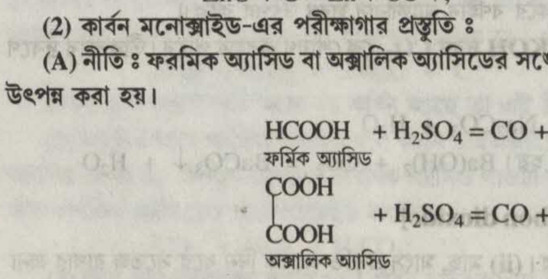
(A) নীতি ঃ ফরমিক অ্যাসিড বা অক্সালিক অ্যাসিডের সঙ্গে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের বিক্রিয়া দ্বারা কার্বন মনোক্সাইড উৎপন্ন করা হয়।

$$\underset{\text{ফর্মিক অ্যাসিড}}{HCOOH} + H_2SO_4 = CO + [H_2O + H_2SO_4]$$

$$\underset{\text{অক্সালিক অ্যাসিড}}{\begin{matrix}COOH\\ |\\ COOH\end{matrix}} + H_2SO_4 = CO + CO_2 + [H_2O + H_2SO_4]$$

এখানে গাঢ় H_2SO_4, ফরমিক অ্যাসিড বা অক্সালিক অ্যাসিডের অণু থেকে গঠন-জল শোষণ করে নেওয়ার ফলে CO গ্যাস উৎপন্ন হয়।

(B) পদ্ধতি ঃ একটি ফ্লাস্কের মধ্যে কিছু গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড নিয়ে ফ্লাস্কটির মুখে একটি কর্কের মধ্য দিয়ে একটি বিন্দুপাতী ফানেল ও নির্গম-নল লাগিয়ে নির্গম-নলের শেষ প্রান্তটি জলপূর্ণ গ্যাসদ্রোণীর মধ্যে ডুবিয়ে রাখা হল। একটি জলপূর্ণ গ্যাসজারকে নির্গম-নলের শেষ প্রান্তের উপর উপুড় করে রাখা হল। ফ্লাস্কটিকে ক্লাম্পের সাহায্যে দণ্ডের সঙ্গে আটকে ত্রিপদ স্ট্যান্ডে রাখা তারজালির উপর বসিয়ে 100°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত করা হল, সেইসঙ্গে বিন্দুপাতী ফানেল থেকে ফোঁটা ফোঁটা ফরমিক অ্যাসিড ফ্লাস্কের মধ্যে ফেলা হল। বিক্রিয়ার ফলে উৎপন্ন কার্বন মনোক্সাইড জলের নিম্ন অপসারণ দ্বারা গ্যাসজারে জমা হল।



চিত্র 1.4 ঃ কার্বন মনোক্সাইড প্রস্তুতি

অক্সালিক অ্যাসিড এবং গাঢ় H_2SO_4-এর বিক্রিয়ায় কার্বন মনোক্সাইড প্রস্তুত করতে হলে ফ্লাস্কটির ভিতর অক্সালিক অ্যাসিড ও গাঢ় H_2SO_4-এর মিশ্রণ নিয়ে উত্তপ্ত করা হয়। বিক্রিয়ার ফলে কার্বন মনোক্সাইডের সঙ্গে কার্বন ডাইঅক্সাইড উৎপন্ন হয়। উৎপন্ন গ্যাসমিশ্রণকে কস্টিকপটাশ দ্রবণপূর্ণ বোতলের মধ্য দিয়ে চালনা করে CO_2 গ্যাস অপসারণ করার পর কার্বন মনোক্সাইডকে জলের নিম্ন অপসারণ দ্বারা গ্যাসজারে সংগ্রহ করা হয়।

(C) বিশুদ্ধিকরণ ঃ এইভাবে উৎপন্ন কার্বন মনোক্সাইডে সামান্য CO_2, SO_2 এবং জলীয় বাষ্প থাকে। উৎপন্ন গ্যাসটিকে প্রথমে NaOH দ্রবণের মধ্য দিয়ে চালনা করে CO_2 এবং SO_2 দূর করা হয়। পরে P_2O_5 পূর্ণ টিউবের মধ্যে চালনা করে জলীয় বাষ্প দূর করার পর বিশুদ্ধ কার্বন মনোক্সাইড গ্যাসকে পারদের উপর সংগ্রহ করা হয়।

● **CO-কে গাঢ় H_2SO_4 দ্বারা শুষ্ক করা যায় না কারণ,** গাঢ় H_2SO_4 একটি জারক অ্যাসিড—বিয়োজিত হয়ে জায়মান অক্সিজেন দেয়। CO গ্যাসকে গাঢ় H_2SO_4-এর মধ্যে চালনা করে শুষ্ক করতে গেলে গাঢ় H_2SO_4, CO-কে জারিত করে CO_2-তে পরিণত করে। তাই CO-কে গাঢ় H_2SO_4 দ্বারা শুষ্ক করা যায় না। $H_2SO_4 + CO = CO_2 + SO_2 + H_2O$

(3) কার্বন ডাইঅক্সাইড থেকে কার্বন মনোক্সাইড প্রস্তুতি ঃ শ্বেততপ্ত কার্বনের উপর দিয়ে কার্বন ডাইঅক্সাইড গ্যাস চালনা করলে কার্বন ডাইঅক্সাইড বিজারিত হয়ে কার্বন মনোক্সাইডে পরিণত হয়। $CO_2 + C = 2CO$

(4) পটাশিয়াম ফেরোসায়ানাইডকে গাঢ় H_2SO_4-এর সঙ্গে মিশিয়ে উত্তপ্ত করলে বিশুদ্ধ CO গ্যাস পাওয়া যায়।

$$K_4[Fe(CN)_6] + 6H_2SO_4 + 6H_2O = 2K_2SO_4 + 3(NH_4)_2SO_4 + FeSO_4 + 6CO\uparrow$$

[এই বিক্রিয়ায় লঘু H_2SO_4 ব্যবহার করলে **মারাত্মক বিষাক্ত HCN গ্যাস** উৎপন্ন হয়।]

(5) সোডিয়াম ফর্মেট থেকে—সোডিয়াম ফর্মেটের সঙ্গে গাঢ় H_2SO_4 মিশিয়ে ধীরে ধীরে উত্তপ্ত করলে CO উৎপন্ন হয়।

$$HCOONa + H_2SO_4 = NaHSO_4 + CO + H_2O$$

(6) CO-এর শিল্প প্রস্তুতি—শ্বেততপ্ত কোকের উপর দিয়ে স্টিম চালনা করলে জল বিজারিত হয়ে CO এবং H_2 উৎপন্ন করে।

$$C + H_2O\,(\text{স্টিম}) \rightarrow CO + H_2$$

সমআয়তনের CO এবং H_2-এর মিশ্রণকে **ওয়াটার গ্যাস** বলা হয়। এটি জ্বালানি রূপে ব্যবহৃত হয়।

1.7. কার্বন মনোক্সাইডের ধর্ম [Properties of Carbon monoxide]

(A) ভৌত ধর্ম ঃ (i) কার্বন মনোক্সাইড বর্ণহীন, স্বাদহীন, মৃদু গন্ধযুক্ত গ্যাস। **(ii)** জলে খুব সামান্য দ্রাব্য। **(iii)** স্বাভাবিক চাপে কার্বন মনোক্সাইড $-191^{\circ}C$ উষ্ণতায় তরলে পরিণত হয়। **(iv)** কার্বন মনোক্সাইড অত্যন্ত বিষাক্ত, বাতাসে শতকরা একভাগ CO থাকলে জীবের মৃত্যু হয়। প্রশ্বাসের সঙ্গে ফুসফুসের মধ্যে CO গেলে, যেহেতু অক্সিজেনের চেয়ে কার্বন মনোক্সাইডের প্রতি রক্তের মধ্যস্থ হিমোগ্লোবিনের বিশেষ আসক্তি থাকে, তাই হিমোগ্লোবিনের সঙ্গে CO-যুক্ত হয়ে **কার্বক্সি-হিমোগ্লোবিনে** পরিণত হয়। এর ফলে হিমোগ্লোবিন ফুসফুস থেকে অক্সিজেন বহন করে শরীরের বিভিন্ন কোশে পৌঁছে দিতে পারে না, ফলে অক্সিজেনের অভাবে জীবের মৃত্যু ঘটে। **(v)** CO গ্যাস বাতাসের চেয়ে সামান্য হালকা।

(B) রাসায়নিক ধর্ম ঃ

(1) কার্বন মনোক্সাইড একটি দাহ্য গ্যাস। গ্যাসটি জ্বলতে সাহায্য করে না, কিন্তু নিজেই অক্সিজেন বা বাতাসের মধ্যে নীল শিখা সহ জ্বলে জারিত হয়ে কার্বন ডাইঅক্সাইডে পরিণত হয়। বিক্রিয়াটি তাপ উৎপাদক। বিক্রিয়ার ফলে প্রচুর তাপ উৎপন্ন হয়।

$$2CO + O_2 = 2CO_2 + 135{\cdot}2\text{ k cal.}$$

(2) বিজারণ ক্ষমতা ঃ CO-এর মধ্যে C-পরমাণুর জারণ সংখ্যা +2, আবার C-এর সর্বোচ্চ জারণ সংখ্যা +4। সুতরাং CO-এর C পরমাণুর জারণ সংখ্যা +2 থেকে বৃদ্ধি পেয়ে +4 হতে পারে—অর্থাৎ নিজে জারিত হওয়ার সুযোগ আছে। অপরকে বিজারিত করেই নিজে জারিত হওয়া যায়। সেইজন্যই কার্বন মনোক্সাইড অপর পদার্থকে বিজারিত করে নিজে জারিত হয়। তাই CO একটি শক্তিশালী বিজারক।

(i) জিঙ্ক, আয়রন, কপার প্রভৃতি ধাতুর অক্সাইডগুলিকে উচ্চ উষ্ণতায় বিজারিত করে ধাতু উৎপন্ন করে।

$$CuO + CO = Cu + CO_2\uparrow \qquad Fe_2O_3 + 3CO = 2Fe + 3CO_2\uparrow$$

$$ZnO + CO = Zn + CO_2\uparrow$$

কার্বন মনোক্সাইড $PdCl_2$-কে বিজারিত করে ধাতব Pd উৎপন্ন করে। $PdCl_2 + CO + H_2O = Pd + CO_2 + 2HCl$

(ii) $550^{\circ}C$ উষ্ণতায় Fe_3O_3 এবং Cr_2O_3-এর মিশ্রণকে অনুঘটক রূপে ব্যবহার করলে স্টিম, কার্বন মনোক্সাইড দ্বারা বিজারিত হয়ে H_2 উৎপন্ন করে। $CO + H_2O = H_2 + CO_2$

(iii) $90^{\circ}C$ উষ্ণতায় কার্বন মনোক্সাইড I_2O_5-কে বিজারিত করে বেগুনি বর্ণের I_2 মুক্ত করে।

$$I_2O_5 + 5CO = I_2 + 5CO_2$$

(3) ক্ষারের সঙ্গে বিক্রিয়া ঃ CO একটি প্রশম অক্সাইড। লিটমাসের রং-এর পরিবর্তন করে না। সাধারণ অবস্থায় ক্ষার বা ক্ষারকের সঙ্গে বিক্রিয়া করে না, কিন্তু $160^{\circ}C$ উষ্ণতায় এবং উচ্চচাপে, ঘন কস্টিক সোডা দ্রবণের মধ্য দিয়ে CO চালনা করলে **সোডিয়াম ফর্মেট** উৎপন্ন হয়। $NaOH + CO = HCOONa$

[**CO_2 থেকে অক্সালিক অ্যাসিড প্রস্তুতি ঃ** শ্বেততপ্ত কোকের উপর দিয়ে CO_2 চালনা করে CO প্রস্তুত করা হয়। উৎপন্ন CO-এর সঙ্গে NaOH-এর বিক্রিয়ায় HCOONa উৎপন্ন হয়। সোডিয়াম ফর্মেটকে $360^{\circ}C$ উষ্ণতায় উত্তপ্ত করলে সোডিয়াম অক্সালেট উৎপন্ন হয়। সোডিয়াম অক্সালেটের সঙ্গে HCl-এর বিক্রিয়ায় অক্সালিক অ্যাসিড পাওয়া যায়।

$$CO_2 + C = 2CO;\quad NaOH + CO = HCOONa;\quad 2HCOONa \xrightarrow{360^{\circ}C} \begin{array}{l}COONa\\ |\\ COONa\end{array} + H_2$$

$$NaOOC - COONa + 2HCl = HOOC - COOH + 2NaCl]$$

(4) যুত যৌগ গঠন—কার্বনিল যৌগ গঠন ঃ (i) ক্লোরিনের সঙ্গে সূর্যালোকে, কার্বন মনোক্সাইডের বিক্রিয়ায় কার্বনিল ক্লোরাইড বা বিষাক্ত **ফসজিন** গ্যাস তৈরি হয়। $CO + Cl_2 = COCl_2$

(ii) সালফার বাষ্প এবং কার্বন মনোক্সাইডের মিশ্রণকে উত্তপ্ত নলের মধ্য দিয়ে চালনা করলে **কার্বনিল সালফাইড** উৎপন্ন করে।

$$CO + S = COS$$

কার্বন মনোক্সাইডে কার্বনের যোজ্যতা অসম্পৃক্ত বলে এই রকম যুত যৌগ উৎপন্ন হয়।

(5) জৈব যৌগ গঠন ঃ 358ºC উষ্ণতায় নিকেল বা প্ল্যাটিনাম অনুঘটকের সাহায্যে কার্বন মনোক্সাইড, **হাইড্রোজেনের সঙ্গে বিক্রিয়া করে মিথেন** উৎপন্ন করে। $2CO + 2H_2 = CH_4 + CO_2$

(6) ধাতুর সঙ্গে ক্রিয়া— ধাতব কার্বনিল গঠন ঃ কার্বন মনোক্সাইড **অনেক সন্ধিগত মৌলের** (Transitional elements) **সঙ্গে সবর্গ যোজ্যতার দ্বারা ধাতব কার্বনিল যৌগ গঠন করে।**

$$\underset{}{Ni + 4CO} \xrightarrow{50^\circ C—80^\circ C} \underset{\text{নিকেল কার্বোনিল}}{Ni(CO)_4} \qquad Fe + 5CO \xrightarrow[100\ atm]{180^\circ C} \underset{\text{আয়রন পেন্টাকার্বোনিল}}{Fe(CO)_5}$$

নিকেল কার্বনিল হল উদ্‌বায়ী যৌগ, 180ºC উষ্ণতায় উত্তপ্ত করলে বিয়োজিত হয়ে বিশুদ্ধ নিকেল উৎপন্ন করে।

$$Ni(CO)_4 \xrightarrow{180^\circ C} Ni + 4CO\uparrow$$

(7) 300ºC উষ্ণতায় ZnO এবং Cr_2O_3-কে অনুঘটকরূপে ব্যবহার করলে CO এবং H_2 পরস্পর বিক্রিয়া করে **মিথাইল-অ্যালকোহল** উৎপন্ন করে। $CO + 2H_2 = CH_3OH$

● **শোষক ঃ** গাঢ় হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড কিংবা **অ্যামোনিয়াযুক্ত কিউপ্রাস ক্লোরাইড দ্রবণে কার্বন মনোক্সাইড** শোষিত হয়। কিউপ্রাস ক্লোরাইড দ্রবণটি CO-এর সঙ্গে একটি সাদা কেলাসাকার যুতযৌগ সৃষ্টি করে যা অধঃক্ষিপ্ত হয়।

$$Cu_2Cl_2 + 2CO + 4H_2O = 2\,[CuCl, CO, 2H_2O]$$

● **কার্বন ডাইঅক্সাইড এবং কার্বন মনোক্সাইডের পরস্পর রূপান্তর ঃ**

($CO_2 \longrightarrow CO$) কার্বন ডাইঅক্সাইডকে **শ্বেততপ্ত কোকের উপর দিয়ে চালনা করলে বিজারিত হয়ে কার্বন মনোক্সাইডে** পরিণত হয়। $CO_2 + C = 2CO$

CO-কে অতিরিক্ত অক্সিজেনে দহন করলে জারিত হয়ে CO_2 তে পরিণত হয়। $2CO + O_2 = 2CO_2$

● **$CaCO_3$ থেকে CO প্রস্তুতি ঃ** $CaCO_3$-কে উচ্চ উষ্ণতায় উত্তপ্ত করলে CO_2 উৎপন্ন হয়। উৎপন্ন CO_2-কে শ্বেততপ্ত কোকের উপর চালনা করলে বিজারিত হয়ে কার্বন মনোক্সাইডে পরিণত হয়।

$$CaCO_3 = CaO + CO_2; \quad CO_2 + C = 2CO$$

● **কার্বন মনোক্সাইডের শনাক্তকরণ ঃ (i)** কার্বন মনোক্সাইড নীল শিখায় জ্বলে এবং উৎপন্ন গ্যাস চুন জল ঘোলা করে। **(ii)** HCl কিংবা অ্যামোনিয়াযুক্ত Cu_2Cl_2 দ্রবণে CO চালনা করলে শোষিত হয়ে সাদা কেলাসাকার যুতযৌগ $2[CuCl, CO, 2H_2O]$-এর অধঃক্ষেপ ফেলে। **(iii) প্ল্যাটিনাম বা প্যালাডিয়াম ক্লোরাইড দ্রবণে ফিলটার কাগজ ডুবিয়ে CO গ্যাসের মধ্যে আনলে বিজারিত হয়ে গোলাপি, সবুজ বা কালো হয়ে যায়।**

1.8. কার্বন মনোক্সাইডের ব্যবহার [Uses of Carbon monoxide]

(i) শিল্পে জ্বালানি রূপে বহুল ব্যবহৃত প্রোডিউসার গ্যাস বা ওয়াটার গ্যাসের প্রধান উপাদান হল CO গ্যাস। এছাড়া CO অন্যান্য শিল্প-উৎপাদনে ব্যবহৃত হয়। **(ii)** নিকেল ধাতু নিষ্কাশনে, **(iii)** মিথাইল অ্যালকোহল, অ্যাসেটিক অ্যাসিড ও কৃত্রিম পেট্রোল প্রস্তুতিতে, **(iv)** ধাতু নিষ্কাশনে বিজারকরূপে, **(v)** ফস্‌জিন প্রস্তুতিতে কার্বন মনোক্সাইড ব্যবহৃত হয়, **(vi)** ভিডিও এবং টেপ রেকডারের চৌম্বকীয় ফিতা প্রস্তুতিতে আয়রন কার্বনিল ব্যবহৃত হয়।

● **কার্বন মনোক্সাইডের মধ্যে কার্বন আছে—তার প্রমাণ ঃ** কার্বন মনোক্সাইডকে অতিরিক্ত শুষ্ক এবং বিশুদ্ধ O_2-এর মধ্যে দহন করা হল। বিক্রিয়ার ফলে যে গ্যাস উৎপন্ন হল, তার মধ্যে জ্বলন্ত ম্যাগনেশিয়াম প্রবেশ করানো হল। বিক্রিয়া শেষ হলে যে কঠিন অবশেষ পাওয়া গেল তাকে HCl দ্বারা দ্রবীভূত করায় কালো অবশেষ পাওয়া গেল। এই অবশেষকে সংগ্রহ করে শুষ্ক O_2-এর মধ্যে দহন করলে বর্ণহীন এবং গন্ধহীন একটি গ্যাস পাওয়া গেল যা স্বচ্ছ চুনজল ঘোলা করে কিন্তু অ্যাসিডযুক্ত $K_2Cr_2O_7$ দ্রবণের মধ্যে চালনা করলে দ্রবণের

কমলা বর্ণ সবুজ বর্ণে পরিণত হয় না। সুতরাং প্রমাণিত হল যে, গ্যাসটি কার্বন ডাইঅক্সাইড। কালো অবশেষটিকে O_2-এর মধ্যে দহন করায় CO_2 উৎপন্ন হয়েছে। সুতরাং কালো অবশেষটি হল কার্বন। এই কার্বন, কার্বন মনোক্সাইড থেকে এসেছে।

$$2CO + O_2 = 2CO_2, \qquad CO_2 + 2Mg = 2MgO + C$$
$$C + O_2 = CO_2, \qquad CO_2 + Ca(OH)_2 = CaCO_3\downarrow + H_2O$$

● **CO এবং CO_2-এর মিশ্রণকে সম্পূর্ণরূপে CO_2-তে কিংবা সম্পূর্ণরূপে CO-তে পরিণত করার পদ্ধতি ঃ**

(i) CO এবং CO_2 মিশ্রণকে তীব্রভাবে উত্তপ্ত CuO-এর উপর দিয়ে চালনা করলে CO_2-এর কোনো পরিবর্তন হয় না কিন্তু CO, উত্তপ্ত CuO-কে বিজারিত করে নিজে জারিত হয়ে CO_2-তে পরিণত হয়। ফলে নির্গম নল দিয়ে শুধু CO_2 বেরিয়ে আসে। এভাবে CO এবং CO_2-এর মিশ্রণকে সম্পূর্ণভাবে CO_2-তে পরিণত করা হয়। $CO + CuO = Cu + CO_2$

(ii) CO এবং CO_2-এর মিশ্রণকে শ্বেততপ্ত কোকের উপর দিয়ে চালনা করলে CO_2 কোক দ্বারা বিজারিত হয়ে CO-তে পরিণত হয়। $CO_2 + C = 2CO$

● **CO, CO_2 এবং SO_2 মিশ্রিত একটি মিশ্রণের মধ্য থেকে গ্যাসগুলিকে পৃথক করার পদ্ধতি ঃ**

(i) গ্যাস মিশ্রণটিকে প্রথমে HCl মিশ্রিত Cu_2Cl_2 দ্রবণের মধ্য দিয়ে চালনা করা হল। এর ফলে CO ওই দ্রবণে শোষিত হয়। CO_2, এবং SO_2 বিক্রিয়া না করে বেরিয়ে যায়। প্রাপ্ত দ্রবণটিকে উত্তপ্ত করলে CO নির্গত হয়—একে সংগ্রহ করা হয়।

$$CO + Cu_2Cl_2 + 2H_2O = Cu_2Cl_2, CO, 2H_2O$$
$$Cu_2Cl_2, CO, 2H_2O = Cu_2Cl_2 + CO + 2H_2O$$

(ii) অবশিষ্ট CO_2, SO_2 গ্যাসের মিশ্রণকে জলের মধ্যে চালনা করা হয়, এর ফলে CO_2 এবং SO_2 জলে দ্রবীভূত হয়ে যথাক্রমে H_2CO_3 এবং H_2SO_3-তে পরিণত হয়।

(iii) এই অ্যাসিডের মিশ্রণে H_2S চালনা করা হল—এর ফলে H_2SO_3 বিজারিত হয়ে S-এর অধঃক্ষেপ উৎপন্ন করে। ফিলটার করে একে পৃথক করে বাতাসের মধ্যে দহন করলে SO_2 গ্যাস পাওয়া যায়।

$$H_2O + CO_2 = H_2CO_3, \qquad H_2O + SO_2 = H_2SO_3$$
$$H_2SO_3 + 2H_2S = 3H_2O + 3S\downarrow$$

(iv) পরিস্রুত রূপে H_2CO_3 পাওয়া যায়। একে উত্তপ্ত করলে CO_2 পাওয়া যায়। $H_2CO_3 = H_2O + CO_2\uparrow$

● **কার্বন মনোক্সাইডের গঠন সংকেত ঃ**

CO-র গঠন সংকেত সরল রৈখিক (Linear)।

$$:C \overset{\leftarrow}{=} O: \longleftrightarrow :C = \ddot{O}:$$

CO অণুর মধ্যে C এবং O পরমাণুর মধ্যে ত্রিবন্ধনের উপস্থিতি প্রদত্ত যুক্তিগুলির দ্বারা প্রমাণ করা যায়—**(i)** CO অণুর মধ্যে C—O বন্ধন দৈর্ঘ্য = 1·13 Å যা C এবং O পরমাণুর মধ্যে গঠিত ত্রিবন্ধন দৈর্ঘ্যের সমান। **(ii)** C এবং O এর মধ্যে ইলেকট্রোনেগিটিভিটির অনেক পার্থক্য থাকলেও বাস্তবে CO অণু দ্বিমেরু ভ্রামকের মান খুব কম—এর কারণ হল O পরমাণু থেকে ইলেকট্রন জোড়ের C পরমাণুর দিকে সরণ, যার জন্য ইলেকট্রোনেগেটিভিটির পার্থক্য (O এবং C পরমাণুর মধ্যে) অনেক কমে যায়। **(iii)** C-এর ওপর একটি নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন জোড় থাকার দরুন CO যুত যৌগ গঠন করতে পারে, যেমন কার্বনিল ক্লোরাইড। অক্সিজেন এবং কার্বনের মধ্যে একটি সিগমা (σ) বন্ধন, একটি পাই (π) বন্ধন এবং আর একটি ডেটিভ π বন্ধন বর্তমান, অর্থাৎ সমযোজী বন্ধন এবং একটি কোঅর্ডিনেট সমযোজী বন্ধন বর্তমান।

● **কার্বন ডাইঅক্সাইড ও কার্বন মনোক্সাইডের ধর্মের তুলনা ঃ**

ধর্ম	কার্বন ডাইঅক্সাইড	কার্বন মনোক্সাইড
(1) শরীরের উপর ক্রিয়া	বিষাক্ত নয়, তবে শ্বাসকার্যে সাহায্য করে না।	বিষাক্ত গ্যাস, শ্বাস নিলে মৃত্যু ঘটে।
(2) দহন	নিজে জ্বলে না, অপরকে দহনে সাহায্য করে না তবে জ্বলন্ত Na, Mg প্রভৃতি এর মধ্যে জ্বলে। $CO_2 + 2Mg = 2MgO + C$	বাতাস বা O_2-এর মধ্যে নিজেই নীল শিখায় জ্বলে CO_2-তে পরিণত হয়। দহনে সাহায্য করে না। $2CO + O_2 = 2CO_2$
(3) অক্সাইড	আম্লিক অক্সাইড, জলে দ্রবীভূত হয়ে কার্বনিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে।	প্রশম অক্সাইড।

ধর্ম	কার্বন ডাইঅক্সাইড	কার্বন মনোক্সাইড
(4) ক্ষারের সঙ্গে বিক্রিয়া	ক্ষার দ্রবণে কার্বনেট গঠন করে, অতিরিক্ত CO_2 বাই-কার্বনেট দ্রবণ গঠন করে। $NaOH + CO_2 = NaHCO_3$ $2NaOH + CO_2 = Na_2CO_3 + H_2O$	সাধারণ চাপ ও উষ্ণতায় ক্ষারের সঙ্গে বিক্রিয়া করে না। উচ্চচাপ ও উষ্ণতায় NaOH-এর সঙ্গে ফরমেট উৎপন্ন করে। $NaOH + CO = HCOONa$
(5) যুত যৌগ গঠন	কোনো যুত যৌগ উৎপন্ন করে না।	যুত যৌগ গঠন করে। যেমন, কার্বনিল ক্লোরাইড। $CO + Cl_2 = COCl_2$
(6) শোষক	কস্টিক পটাশ বা কস্টিক সোডা দ্বারা শোষিত হয়।	অ্যামোনিয়া মিশ্রিত কিউপ্রাস ক্লোরাইড দ্রবণে শোষিত হয়।
(7) চুন জলের সঙ্গে বিক্রিয়া	চুনজলের মধ্যে CO_2 চালনা করলে প্রথমে স্বচ্ছ দ্রবণ ঘোলা হয়ে যায়। অতিরিক্ত CO_2 চালনা করলে দ্রাব্য ঘোলা দ্রবণটি আবার স্বচ্ছ হয়।	চুন জলের সঙ্গে কোনো বিক্রিয়া করে না।
(8) জারণ বা বিজারণ ক্রিয়া	বিজারণ ক্ষমতা নেই, জ্বলন্ত Mg দ্বারা নিজে বিজারিত হয়। অর্থাৎ এর জারণ ক্ষমতা আছে। $CO_2 + 2Mg = 2MgO + C$	বিজারণ ক্ষমতা আছে। উচ্চ উষ্ণতায় ধাতব অক্সাইডকে বিজারিত করে ধাতু উৎপন্ন করে। $PbO + CO = Pb + CO_2$

• নাইট্রোজেন •

চিহ্ন—N
পারমাণবিক সংখ্যা—7
পারমাণবিক গুরুত্ব—14·008
ইলেকট্রন-বিন্যাস—$1s^2 2s^2 2p^3$
জারণ সংখ্যা : (−3) (−2) (+1) (+2) (+3) (+4) (+5)
পর্যায় সারণিতে অবস্থান—VB(15)

1.9. নাইট্রোজেনের অবস্থান [Occurrence of Nitrogen]

নাইট্রোজেনকে মুক্ত অবস্থায় এবং যৌগ রূপে প্রকৃতির মধ্যে পাওয়া যায়।

মুক্ত অবস্থায়—বায়ুমণ্ডলের প্রায় 79% হল নাইট্রোজেন। আগ্নেয়গিরি থেকে নির্গত গ্যাসের মধ্যে এবং কয়লার দহনে N_2 গ্যাস পাওয়া যায়।

যৌগ রূপে—প্রকৃতির মধ্যে নাইট্রোজেনকে যৌগ অবস্থায় চিলি সল্টপিটার (সোডিয়াম নাইট্রেট, $NaNO_3$), নাইটার (পটাশিয়াম নাইট্রেট, KNO_3) এবং অ্যামোনিয়াম লবণের মধ্যে পাওয়া যায়।

এছাড়া উদ্ভিদ ও প্রাণীর দেহে উপস্থিত প্রোটিনের প্রধান উপাদান হল নাইট্রোজেন।

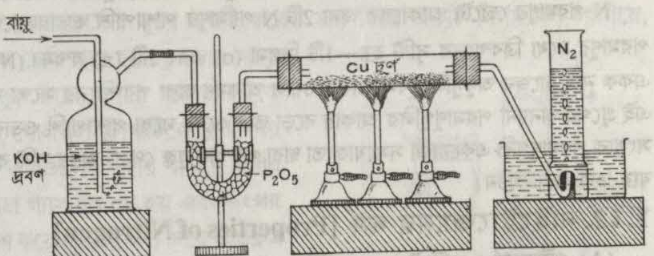
● **নাইট্রোজেনের আইসোটোপ** : নাইট্রোজেনের দুটি স্থায়ী আইসোটোপ আছে—**(i) $_7N^{14}$ (99·62)** এবং **(ii) $_7N^{15}$ (0·38)**—এই দুটি আইসোটোপের অনুপাত হল প্রায় 264 : 1.

1.10. নাইট্রোজেন প্রস্তুতি [Preparation of Nitrogen]

(1) বায়ু থেকে নাইট্রোজেন নিষ্কাশন (Isolation of nitrogen from air) :

(i) বায়ুর মধ্যে প্রধানত অক্সিজেন ও নাইট্রোজেন আছে। এর মধ্যে নাইট্রোজেনের পরিমাণ প্রায় 79%। বায়ুকে প্রথমে KOH দ্রবণের মধ্য দিয়ে চালনা করে CO_2 দূর করা হয়। পরে P_2O_5-এর মধ্যে চালনা করে জলীয়বাষ্প দূর করে দহন-নলের মধ্যে রাখা উত্তপ্ত কপারকুচির উপর দিয়ে চালনা করলেই বায়ুর O_2-এর সঙ্গে কপার যুক্ত হয়ে CuO গঠন করে। নির্গম-নলের মধ্য দিয়ে নাইট্রোজেন গ্যাস বেরিয়ে আসে। জলের অপসারণ দ্বারা গ্যাসজারে N_2 সংগ্রহ করা হয়। এভাবে প্রাপ্ত N_2 গ্যাসের মধ্যে নিষ্ক্রিয় গ্যাসগুলি থেকে যায় (চিত্র 1.5)।

(ii) তরল বায়ুর আংশিক পাতন দ্বারা : বায়ু থেকে যে নাইট্রোজেন পাওয়া যায় তা বিশুদ্ধ নয়। বায়ুকে KOH-এর মধ্য দিয়ে চালনা করে CO_2 দূর করা হয়, পরে P_2O_5-এর মধ্যে চালনা করে জলীয় বাষ্প দূর করার পর CO_2 এবং জলীয় বাষ্পমুক্ত ওই বায়ুর উষ্ণতা –190°C-এ আনলে ওই বায়ু তরল হয়ে যায়। এই তরল বায়ুর মধ্যে N_2, O_2 এবং নিষ্ক্রিয় গ্যাসগুলি বর্তমান থাকে। তরল বায়ুর আংশিক পাতন করলে বেশি উদ্‌বায়ী N_2 গ্যাস (b.p. –195°C), O_2-এর (b.p. –183°C) আগে পাতিত হয়।



চিত্র 1.5 : বায়ু থেকে নাইট্রোজেন

● **বায়ু থেকে উৎপন্ন নাইট্রোজেন, পরীক্ষাগারে অ্যামোনিয়াম নাইট্রাইট থেকে উৎপন্ন N_2-এর চেয়ে ভারী হয় কেন?**

বায়ু থেকে প্রাপ্ত N_2-এর মধ্যে CO_2, O_2 জলীয় বাষ্প না থাকলেও নিষ্ক্রিয় গ্যাসগুলিকে (হিলিয়াম, নিয়ন, আর্গন, ক্রিপ্টন ইত্যাদি) দূর করা যায় না, তাই বায়ু থেকে প্রাপ্ত N_2-এর মধ্যে নিষ্ক্রিয় গ্যাসগুলি থেকে যায়। একমাত্র He গ্যাস ছাড়া অন্যান্য নিষ্ক্রিয় গ্যাসগুলির ঘনত্ব নাইট্রোজেনের চেয়ে বেশি।

পরীক্ষাগারে নাইট্রোজেন ঘটিত যৌগ, যেমন NH_4NO_2-কে উত্তপ্ত করে যে N_2 পাওয়া যায় তার মধ্যে অশুদ্ধি থাকে না এবং বিশেষ করে ওই ভারী নিষ্ক্রিয় গ্যাসগুলি থাকে না। তাই বায়ু থেকে প্রাপ্ত নাইট্রোজেনের ঘনত্ব পরীক্ষাগারে উৎপন্ন নাইট্রোজেনের ঘনত্বের চেয়ে বেশি হয়।

$$NH_4NO_2 = N_2 + 2H_2O$$

নাইট্রোজেন প্রস্তুতির অন্যান্য প্রণালী :

(2) অ্যামোনিয়া থেকে—(i) উত্তপ্ত কিউপ্রিক অক্সাইডের উপর দিয়ে NH_3 গ্যাস চালনা করে N_2 উৎপন্ন হয়।

$$3CuO + 2NH_3 = 3Cu + N_2 + 3H_2O$$

এই বিক্রিয়ায় NH_3 জারিত হয়ে N_2-তে পরিণত হয়।

(ii) অতিরিক্ত NH_3-এর সঙ্গে Cl_2-এর বিক্রিয়ায় N_2 উৎপন্ন হয়।

$$8NH_3 + 3Cl_2 = 6NH_4Cl + N_2$$

(iii) ব্লিচিং পাউডারের সঙ্গে অ্যামোনিয়ার বিক্রিয়ায় N_2 উৎপন্ন হয়।

$$2NH_3 + 3Ca(OCl)Cl = 3CaCl_2 + N_2 + 3H_2O$$

(iv) সোডিয়াম হাইপোক্লোরাইটের সাথে NH_3-এর বিক্রিয়ায় N_2 উৎপন্ন হয়।

$$3NaOCl + 2NH_3 = 3NaCl + N_2 + 3H_2O$$

(v) নাইট্রিক অ্যাসিড বাষ্পকে উত্তপ্ত কপারের উপর দিয়ে চালনা করলে HNO_3 বিজারিত হয়ে N_2 উৎপন্ন করে।

$$5Cu + 2HNO_3 = 5CuO + N_2 + H_2O$$

(vi) নাইট্রোজেনের অক্সাইডকে উত্তপ্ত কপার কুচির উপর দিয়ে চালনা করলে অক্সাইডগুলি বিজারিত হয়ে N_2 উৎপন্ন করে।

$$N_2O + Cu = CuO + N_2 ; \quad 2NO + 2Cu = 2CuO + N_2$$

(vii) অ্যামোনিয়াম ডাইক্রোমেটকে উত্তপ্ত করলে, লবণটি তাপ বিয়োজিত হয়ে সবুজ বর্ণের ক্রোমিক অক্সাইড এবং N_2 গ্যাস উৎপন্ন হয়।

$$(NH_4)_2Cr_2O_7 = Cr_2O_3 + N_2\uparrow + 4H_2O$$

1.11. নাইট্রোজেনের রাসায়নিক সক্রিয়তা [Chemical Reactivity of Nitrogen]

নাইট্রোজেন মৌলটি রাসায়নিকভাবে নিষ্ক্রিয়। নাইট্রোজেন অণুর মধ্যে দুটি N পরমাণুর প্রত্যেকের একটি করে p_x অরবিট্যালের মুখোমুখি অভিলেপনের ফলে একটি সমযোজী সিগমা (σ) বন্ধনের সৃষ্টি হয় এবং দুটি p_y এবং p_z অরবিট্যালের পাশাপাশি অভিলেপনের ফলে দুটি π বন্ধনের সৃষ্টি হয়। যেহেতু N পরমাণুর আকার খুব ছোটো তাই দুটি π বন্ধনের পরস্পরের মধ্যে অভিলেপন বেশি হয়। এর ফলে দুটি N পরমাণু পরস্পরের মধ্যে ত্রিবন্ধনের সৃষ্টি হয়—যার মধ্যে দুটি হল π-বন্ধন এবং একটি দৃঢ় সিগমা বন্ধন। এর ফলে N_2 অণুর মধ্যে N—N বন্ধন দৈর্ঘ্য 109·8 pm হয় এবং বন্ধন বিয়োজন শক্তির মান 946 kJ mol^{-1} হয়। নাইট্রোজেনের রাসায়নিক সক্রিয়তা কম হওয়ার কারণ হল অণুর আকার খুব ছোটো এবং বন্ধন বিয়োজন শক্তির মান খুব বেশি। তবে উচ্চ উষ্ণতায় নাইট্রোজেন অনেক সক্রিয় ধাতু এবং অধাতুর সঙ্গে বিক্রিয়া করে।

● Group V (15)-এর N_2 একটি গ্যাস কিন্তু ওই একই গ্রুপের অন্যান্য মৌলগুলি কঠিন কেন?

N-পরমাণুর ছোটো আকারের জন্য 2টি N পরমাণুর পাশাপাশি ওভারল্যাপের ফলে দুটি পাই (π) বন্ধনের সৃষ্টি হয়, ফলে দুটি N পরমাণুর মধ্যে ত্রিবন্ধনের সৃষ্টি হয়—1টি সিগ্‌মা (σ) এবং 2টি (π) বন্ধন। ($N \equiv N$), এইভাবে 2টি N পরমাণু N_2 অণু উৎপন্ন করে। একক নাইট্রোজেন অণুগুলি দুর্বল ভান্ডারওয়াল আকর্ষণ দ্বারা পরস্পরের সঙ্গে যুক্ত থাকে। তাই সাধারণ উষ্ণতায় N_2 গ্যাস। অপর দিকে এই গ্রুপের অন্যান্য পরমাণুগুলির আকার বড়ো তাই ওদের মধ্যে পাশাপাশি ওভারল্যাপ খুব জোরালো নয়। কাজেই ওই মৌলগুলির বেশি সংখ্যক পরমাণুগুলি একযোজী সমযোজ্যতা দ্বারা পরস্পর যুক্ত থেকে অণুর সৃষ্টি করে (যেমন P_4)—এর ফলে ওদের আণবিক গুরুত্ব বেড়ে যায় তাই ওরা কঠিন।

1.12. নাইট্রোজেনের ধর্ম [Properties of Nitrogen]

(A) ভৌতধর্ম ঃ নাইট্রোজেন বর্ণহীন, গন্ধহীন গ্যাস। জলে নাইট্রোজেনের দ্রাব্যতা খুব কম। নাইট্রোজেনের স্ফুটনাঙ্ক = $-195{\cdot}8°C$ এবং বাষ্পঘনত্ব = 14 (H = 1)

নাইট্রোজেন অণুর মধ্যে দুটি পরমাণু থাকে। পরমাণু দুটি ত্রিযোজী বন্ধন দ্বারা পরস্পরের সঙ্গে যুক্ত। পরমাণু দুটি তিনটি ইলেকট্রন-জোড় গঠন করে সমযোজ্যতার সৃষ্টি করে (:N⋮⋮N:)। **এই বন্ধন বেশ দৃঢ়, তাই নাইট্রোজেন নিষ্ক্রিয়।**

(B) রাসায়নিক ধর্ম ঃ

(1) নাইট্রোজেন নিজে জ্বলে না বা অন্য পদার্থকে জ্বলতে সাহায্য করে না।

(2) ধাতুর সঙ্গে বিক্রিয়া ঃ সাধারণ উষ্ণতায় নাইট্রোজেন অন্য পদার্থের সঙ্গে বিক্রিয়া করে না, কিন্তু উচ্চ উষ্ণতায় **ক্যালশিয়াম, ম্যাগনেশিয়াম, অ্যালুমিনিয়াম** প্রভৃতি ধাতুর সঙ্গে বিক্রিয়া করে **নাইট্রাইড যৌগ** উৎপন্ন করে। উৎপন্ন **নাইট্রাইডের সঙ্গে ফুটন্ত জলের বিক্রিয়ায় অ্যামোনিয়া উৎপন্ন হয়।**

$$3Mg + N_2 = Mg_3N_2; \qquad Mg_3N_2 + 6H_2O = 3Mg(OH)_2 + 2NH_3$$
$$2Al + N_2 = 2AlN; \qquad AlN + 3H_2O = Al(OH)_3 + NH_3$$

(3) অধাতুর সঙ্গে বিক্রিয়া ঃ (i) হাইড্রোজেনের সঙ্গে ঃ 550°C উষ্ণতায় ও 200 বায়ুমণ্ডল চাপে লৌহ অনুঘটকের উপস্থিতিতে, হাইড্রোজেনের সঙ্গে নাইট্রোজেনের বিক্রিয়া ঘটে **অ্যামোনিয়া গ্যাস** উৎপন্ন হয়। বিক্রিয়াটি উভমুখী ও সম্মুখ বিক্রিয়াটি তাপ উৎপাদক।

$$N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3 + 22{\cdot}4 \text{ k cal}$$

(ii) অক্সিজেনের সঙ্গে ঃ বিদ্যুৎ-স্ফুলিঙ্গের উপস্থিতিতে (3000°C) **নাইট্রোজেন ও অক্সিজেন যুক্ত হয়ে নাইট্রিক অক্সাইড** উৎপন্ন করে। বিক্রিয়াটি তাপশোষক।

$$N_2 + O_2 \rightleftharpoons 2NO - 43{\cdot}3 \text{ k cal}$$

(iii) উচ্চ উষ্ণতায় **বোরন, সিলিকন** N_2-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে **সমযোজী নাইট্রাইড যৌগ** উৎপন্ন করে। লোহিত তপ্ত অবস্থায় বোরনের উপর দিয়ে নাইট্রোজেন চালনা করলে বোরন নাইট্রাইড এবং শ্বেত তপ্ত অবস্থায় সিলিকনের উপর দিয়ে N_2 গ্যাস চালনা করলে সিলিকন নাইট্রাইড উৎপন্ন হয়।

$$2B + N_2 = \underset{\text{বোরন নাইট্রাইড}}{2BN} \qquad 6Si + 4N_2 = \underset{\text{সিলিকন নাইট্রাইড}}{2Si_3N_4}$$

(4) ক্যালশিয়াম কার্বাইডের সঙ্গে ঃ 1100°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত **ক্যালশিয়াম কার্বাইডের** উপর দিয়ে নাইট্রোজেন চালনা করলে **ক্যালশিয়াম সায়নামাইড** উৎপন্ন হয়। **ক্যালশিয়াম সায়নামাইড ও কার্বনের ধূসর মিশ্রণকে নাইট্রোলিম বলে।** অতিতপ্ত স্টিম ক্যালশিয়াম সায়নামাইডকে আর্দ্র বিশ্লেষিত করে অ্যামোনিয়া উৎপন্ন করে।

$$CaC_2 + N_2 = CaCN_2 + C; \qquad CaCN_2 + 3H_2O = CaCO_3 + 2NH_3$$

নাইট্রোলিম রাসায়নিক সার হিসাবে ব্যবহৃত হয়।

● অ্যামোনিয়া—নাইট্রোজেনের একটি হাইড্রাইড ●

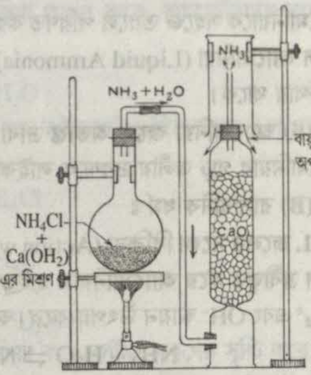
1.13. অ্যামোনিয়া প্রস্তুতি [Preparation of ammonia]

(1) পরীক্ষাগার প্রস্তুতি (Laboratory method of preparation) **ঃ**

(A) নীতি ঃ পরীক্ষাগারে সাধারণত **অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইডের সঙ্গে শুষ্ক চুন বা কলিচুন মিশিয়ে উত্তপ্ত করে অ্যামোনিয়া গ্যাস প্রস্তুত করা হয়।**

$$2NH_4Cl + CaO = 2NH_3\uparrow + CaCl_2 + H_2O$$
$$2NH_4Cl + Ca(OH)_2 = 2NH_3\uparrow + CaCl_2 + 2H_2O$$

(B) পদ্ধতি ঃ একভাগ ওজনের অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইডের সঙ্গে তিনভাগ ওজনের কলিচুন ভালো করে মিশিয়ে মিশ্রণটিকে একটি গোলতল ফ্লাস্কের ভিতর নেওয়া হয়। ফ্লাস্কের মুখে একটি কর্কের মধ্য দিয়ে একটি নির্গম-নল লাগিয়ে, নির্গম-নলের অপর প্রান্তটিকে একটি চুনস্তম্ভের সঙ্গে যোগ করা হয়। চুনস্তম্ভ থেকে নির্গত নির্গম-নলের উপর একটি শুষ্ক গ্যাসজার উপুড় করে বসিয়ে গ্যাসজারটিকে ক্ল্যাম্পের সাহায্যে স্ট্যান্ডের সঙ্গে আটকানো হয়। গোলতল ফ্লাস্কটিকে ক্ল্যাম্পের সাহায্যে স্ট্যান্ডের সঙ্গে আটকে ত্রিপদ স্ট্যান্ডে রাখা তারজালির উপর বসিয়ে বার্নার দিয়ে ফ্লাস্কটিকে উত্তপ্ত করা হয়। এর ফলে অ্যামোনিয়া গ্যাস উৎপন্ন হয় এবং উৎপন্ন গ্যাসটি নির্গম-নলের মধ্য দিয়ে চুন-স্তম্ভের মধ্যে প্রবেশ করে। চুনের মধ্য দিয়ে অতিক্রম করার সময় অ্যামোনিয়ার মধ্যস্থ জলীয় বাষ্প চুন দ্বারা শোষিত হয়। চুনস্তম্ভের উপরের নির্গম-নল দিয়ে শুষ্ক অ্যামোনিয়া গ্যাস বেরিয়ে **বাতাসের নিম্ন অপসারণ দ্বারা গ্যাসজারের মধ্যে জমা হয়, কারণ অ্যামোনিয়া বাতাসের চেয়ে হালকা।**



চিত্র 1.6 ঃ অ্যামোনিয়া প্রস্তুতি

অ্যামোনিয়া জলে খুব দ্রাব্য। NH_3 জলে এত বেশি দ্রাব্য যে জলের নিম্ন অপসারণ দ্বারা গ্যাসটিকে সংগ্রহ করার জন্য নির্গম নলের শেষ প্রান্তটিতে একটি জলপূর্ণ পাত্রে ডোবানো মাত্র ফ্লাস্কের এবং নির্গম নলের মধ্যস্থ সব NH_3 জলে দ্রবীভূত হয়ে যায়, ফলে ফ্লাস্কের মধ্যে শূন্যতার সৃষ্টি হয়। তখন জলপূর্ণ পাত্রের জল তীব্র বেগে গরম ফ্লাস্কে প্রবেশ করে, ফলে ফ্লাস্কটি ফেটে যায়। তাই **NH_3-কে জলের নিম্ন অপসারণ দ্বারা সংগ্রহ করা হয় না।**

● **অ্যামোনিয়াকে গাঢ় H_2SO_4 বা P_2O_5 দ্বারা শুষ্ক করা যায় না কেন?**

অ্যামোনিয়া ক্ষারীয় পদার্থ, তাই গাঢ় H_2SO_4 বা P_2O_5 প্রভৃতি আম্লিক প্রকৃতির নিরুদক দিয়ে NH_3-কে শুষ্ক করা যায় না। পদার্থগুলির মধ্য দিয়ে অতিক্রম করার সময় NH_3 সালফিউরিক অ্যাসিড বা P_2O_5-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে যথাক্রমে অ্যামোনিয়াম সালফেট এবং অ্যামোনিয়াম ফসফেট উৎপন্ন করে।

$$2NH_3 + H_2SO_4 = (NH_4)_2SO_4 \qquad 6NH_3 + P_2O_5 + 3H_2O = 2(NH_4)_3PO_3$$

● **অনার্দ্র $CaCl_2$ দ্বারা অ্যামোনিয়াকে শুষ্ক করা যায় না** কারণ $CaCl_2$ অ্যামোনিয়ার সঙ্গে যুক্ত হয়ে $CaCl_2, 8NH_3$ গঠনযুক্ত একটি যুত যৌগ উৎপন্ন করে। $CaCl_2 + 8NH_3 = CaCl_2, 8NH_3$

কোনো কোনো বিজ্ঞানীর মতে এই বিক্রিয়াজাত যৌগটির সংকেত $CaCl_2, 4NH_3$

● **CaO দ্বারা NH_3 শুষ্ক করা যায়**—এর কারণ হল, চুন নিজে ক্ষারীয় এবং NH_3-ও ক্ষারীয়, তাই NH_3 চুনের সঙ্গে কোনো বিক্রিয়া করে না, সেজন্য NH_3 থেকে জল মুক্ত করার জন্য CaO ব্যবহার করা হয়। কঠিন NaOH বা KOH দ্বারাও NH_3-কে শুষ্ক করা যায়।

(2) অ্যামোনিয়াম লবণ থেকে ঃ কয়েকটি অ্যামোনিয়াম লবণকে উচ্চ উষ্ণতায় উত্তপ্ত করলে বিয়োজিত হয়ে অ্যামোনিয়া গ্যাস মুক্ত করে।

$$(NH_4)SO_4 \xrightarrow{\Delta} 2NH_3 + H_2SO_4$$

$$\underset{\text{অ্যামোনিয়াম ফসফেট}}{(NH_4)_3PO_4} \xrightarrow{\Delta} \underset{\text{অ্যামোনিয়া}}{3NH_3} + \underset{\text{মেটা ফসফরিক অ্যাসিড}}{HPO_3} + H_2O$$

(3) ধাতব নাইট্রাইড থেকে ঃ জলের সঙ্গে বা ফুটন্ত জলের সঙ্গে **ধাতব নাইট্রাইড** লবণ আর্দ্র বিশ্লিষ্ট হয়ে অ্যামোনিয়া উৎপন্ন করে।

$$Mg_3N_2 + 6H_2O = 3Mg(OH)_2 + 2NH_3\uparrow; \qquad AlN + 3H_2O = Al(OH)_3 + NH_3\uparrow$$

(4) জায়মান হাইড্রোজেন দ্বারা নাইট্রেট লবণের বিজারণ দ্বারা ঃ কোনো নাইট্রেট লবণ গাঢ় NaOH বা KOH দ্রবণে যোগ করে Zn বা Al চূর্ণের সঙ্গে উত্তপ্ত করলে নাইট্রেট লবণ, ক্ষারের সঙ্গে Zn বা Al-এর বিক্রিয়ায় উৎপন্ন জায়মান হাইড্রোজেন, দ্বারা বিজারিত হয়ে অ্যামোনিয়া উৎপন্ন করে।

$$4Zn + NaNO_3 + 7NaOH = 4Na_2ZnO_2 + NH_3 + 2H_2O$$

(5) ক্যালশিয়াম সায়নামাইডের বিয়োজনে ঃ ক্যালশিয়াম সায়নামাইডকে অতিতপ্ত (super heated) **স্টিম দ্বারা বিয়োজিত করলে অ্যামোনিয়া উৎপন্ন হয়।** $CaCN_2 + 3H_2O = CaCO_3 + 2NH_3$

1.14. অ্যামোনিয়ার ধর্ম [Properties of Ammonia]

(A) ভৌতধর্ম ঃ (i) অ্যামোনিয়া ঝাঁঝালো গন্ধযুক্ত বর্ণহীন গ্যাস, বাতাসের চেয়ে হালকা, বাষ্পঘনত্ব = 8·5 (H = 1)। অ্যামোনিয়াকে সহজে তরলে পরিণত করা যায়। 10°C উষ্ণতায় 6 বায়ুমণ্ডল চাপে অ্যামোনিয়া বর্ণহীন তরলে পরিণত হয়। একে **তরল অ্যামোনিয়া** (Liquid Ammonia) বলে। এটি হল জলশূন্য তরল অ্যামোনিয়া। তরল অ্যামোনিয়া সামান্য মাত্রায় আয়নিত অবস্থায় থাকে।

$$2NH_3 \rightleftharpoons NH_4^+ + NH_2^-$$

(ii) অ্যামোনিয়া জলে অত্যন্ত দ্রাব্য। 0°C উষ্ণতায় 1 আয়তন জলে প্রায় 1150 আয়তন অ্যামোনিয়া গ্যাস দ্রবীভূত হয়। অ্যামোনিয়ার গাঢ় জলীয় দ্রবণকে **লাইকার অ্যামোনিয়া** বলে।

(B) রাসায়নিক ধর্ম ঃ

1. জলের সঙ্গে বিক্রিয়া (Action with water) ঃ অ্যামোনিয়ার গাঢ় জলীয় দ্রবণকে লাইকার অ্যামোনিয়া বলে। **অ্যামোনিয়া জলে দ্রবীভূত হয়ে অ্যামোনিয়াম হাইড্রক্সাইড উৎপন্ন করে।** অ্যামোনিয়াম হাইড্রক্সাইড একটি মৃদু ক্ষার, জলীয় দ্রবণে সামান্য NH_4^+ এবং OH^- আয়ন উৎপন্ন করে। অ্যামোনিয়াম হাইড্রক্সাইড, অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়া করে লবণ ও জল উৎপন্ন করে।

$$NH_3 + H_2O \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-; \qquad NH_4OH + HCl = NH_4Cl + H_2O$$

অ্যামোনিয়ার ক্ষারকীয় ধর্ম ঃ অ্যামোনিয়া মৃদু ক্ষারকীয় পদার্থ। অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়া করে লবণ উৎপন্ন করে। গ্যাসীয় হাইড্রোজেন ক্লোরাইডের সঙ্গে অ্যামোনিয়া গ্যাসের বিক্রিয়ায় অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইডের সাদা ধোঁয়া উৎপন্ন করে। এভাবে দুটি গ্যাসের বিক্রিয়ায় কঠিন পদার্থ উৎপন্ন হয়। $NH_3\,(g) + HCl\,(g) = NH_4Cl\,(s)$

বিক্রিয়াটি দুটি গ্যাসের বিক্রিয়ায় কঠিন পদার্থ উৎপন্ন হওয়ার উদাহরণ।

2. অক্সিজেনের সঙ্গে বিক্রিয়া ঃ

(a) অ্যামোনিয়া অপরকে দহনে সাহায্য করে না, কিন্তু অক্সিজেন আবহাওয়ায় নিজে **হলুদ শিখাসহ জ্বলে।** NH_3 অক্সিজেন দ্বারা জারিত হয়ে নাইট্রোজেন ও জল উৎপন্ন করে। $4NH_3 + 3O_2 = 2N_2 + 6H_2O$

(b) বাতাস বা অক্সিজেনের সঙ্গে মিশ্রিত অবস্থায় অ্যামোনিয়াকে 700°C **উষ্ণতায় প্ল্যাটিনাম তারজালির মধ্যে দিয়ে দ্রুত চালনা করলে** অ্যামোনিয়া জারিত হয়ে **নাইট্রিক অক্সাইড** উৎপন্ন করে।

$$4NH_3 + 5O_2 = 4NO + 6H_2O$$

3. ক্লোরিন, ব্রোমিন ও আয়োডিনের সঙ্গে বিক্রিয়া ঃ

(a) অতিরিক্ত অ্যামোনিয়ার সঙ্গে ক্লোরিনের বিক্রিয়ায় প্রথমে অ্যামোনিয়া জারিত হয়ে **নাইট্রোজেন** ও HCl উৎপন্ন হয়, এই HCl অবিকৃত NH_3-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে NH_4Cl উৎপন্ন করে। $8NH_3 + 3Cl_2 = N_2 + 6NH_4Cl$

অনুরূপে অতিরিক্ত NH_3-এর সাথে Br_2 বা I_2-এর বিক্রিয়ায় যথাক্রমে NH_4Br ও NH_2I উৎপন্ন হয়। প্রতিক্ষেত্রে N_2 মুক্ত হয়।

$$8NH_3 + 3Br_2 = N_2 + 6NH_4Br; \qquad 8NH_3 + 3I_2 = N_2 + 6NH_4I$$

(b) অতিরিক্ত ক্লোরিনের সঙ্গে অ্যামোনিয়ার বিক্রিয়ায়, বিস্ফোরক তরল **নাইট্রোজেন ট্রাই-ক্লোরাইড** উৎপন্ন হয়। **ব্রোমিন অথবা আয়োডিনের ক্ষেত্রে কোনো ট্রাই-হ্যালাইড উৎপন্ন হয় না।**

$$2NH_3 + 6Cl_2 = 2NCl_3 + 6HCl$$

ব্লিচিং পাউডার NH_3-কে জারিত করে N_2 উৎপন্ন করে।

$$3Ca(OCl)Cl + 2NH_3 = 3CaCl_2 + 3H_2O + N_2$$

4. ধাতুর সঙ্গে বিক্রিয়া ঃ

(a) 360°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত সোডিয়াম বা পটাশিয়াম ধাতুর উপর দিয়ে অ্যামোনিয়া চালনা করলে অ্যামাইড (amide) যৌগ এবং হাইড্রোজেন উৎপন্ন হয়। এই বিক্রিয়া প্রমাণ করে যে অ্যামোনিয়াতে H_2 আছে।

$$2Na + 2NH_3 = 2NaNH_2 + H_2; \qquad 2K + 2NH_3 = 2KNH_2 + H_2$$

অ্যামাইডের সঙ্গে জল যোগ করলে হাইড্রক্সাইড ও অ্যামোনিয়া উৎপন্ন হয়।

$$NaNH_2 + H_2O = NaOH + NH_3\uparrow$$

(b) অ্যামোনিয়া গ্যাসের মধ্যে Mg-কে উত্তপ্ত করলে ম্যাগনেশিয়াম নাইট্রাইড উৎপন্ন হয়।

$$3Mg + 2NH_3 = Mg_3N_2 + 3H_2$$

5. বিজারণ ক্রিয়া ঃ অ্যামোনিয়া কতকগুলি ধাতব অক্সাইডকে উচ্চ উষ্ণতায় বিজারিত করে ধাতু উৎপন্ন করে এবং নিজে জারিত হয়ে N_2 উৎপন্ন করে। যেমন কালো বর্ণের উত্তপ্ত কিউপ্রিক অক্সাইডের উপর দিয়ে NH_3 চালনা করলে CuO বিজারিত হয়ে লাল বর্ণের ধাতব কপার উৎপন্ন করে এবং NH_3 জারিত হয়ে N_2-তে পরিণত হয়। **এই বিক্রিয়া প্রমাণ করে, অ্যামোনিয়ার মধ্যে N_2 আছে।**

$$3\overset{+2}{Cu}O + 2\overset{-3}{N}H_3 = 3\overset{0}{Cu} + \overset{0}{N_2} + 3H_2O$$

6. বিভিন্ন ধাতব লবণের সঙ্গে বিক্রিয়া ঃ অ্যামোনিয়ার জলীয় দ্রবণ, অর্থাৎ অ্যামোনিয়াম হাইড্রক্সাইড বিভিন্ন ধাতব লবণের সঙ্গে বিক্রিয়া করে বিভিন্ন হাইড্রক্সাইড অধঃক্ষিপ্ত করে।

$$FeCl_3 + 3NH_4OH = \underset{\text{বাদামি অধঃক্ষেপ}}{Fe(OH)_3 \downarrow} + 3NH_4Cl$$

$$AlCl_3 + 3NH_4OH = \underset{\text{সাদা আঠালো অধঃক্ষেপ}}{Al(OH)_3 \downarrow} + 3NH_4Cl$$

$$Al_2(SO_4)_3 + 6NH_4OH = 2Al(OH)_3 \downarrow + 3(NH_4)_2SO_4$$

7. জটিল লবণ সৃষ্টি ঃ অতিরিক্ত অ্যামোনিয়া কতকগুলি লবণের দ্রবণের সঙ্গে বিক্রিয়া করে জটিল লবণের সৃষ্টি করে।

● **অ্যামোনিয়া জটিল লবণ উৎপন্ন করে কেন ?**

অ্যামোনিয়া অণুর N পরমাণুতে একটি নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন জোড় বর্তমান থাকে। NH_3 অণু যা অন্য কোনো ইলেকট্রন ঘাটতি বিশিষ্ট পরমাণু বা আয়নকে ওই নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন-জোড় দান করতে পারে অর্থাৎ NH_3 লুইস ক্ষারকের মতো ব্যবহার করে। যে সব পরমাণু বা ক্যাটায়নের স্থায়িত্বের জন্য ইলেকট্রন জোড়ের দরকার হয়, সেগুলির সঙ্গে অ্যামোনিয়া নিজের নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন জোড় দান করে অসম-যোজ্যতার দ্বারা যুক্ত হয়ে জটিল আয়ন উৎপন্ন করতে পারে।

$$Ag^+ (aq) + 2NH_3(aq) = [Ag(NH_3)_2]^+ (aq); \quad Cd^{++} (aq) + 4NH_3 (aq) = [Cd(NH_3)_4]^{2+} (aq)$$

(i) কপার সালফেট দ্রবণে অ্যামোনিয়াম হাইড্রক্সাইড যোগ করলে প্রথমে **বেসিক কপার সালফেট** লবণের নীলাভ সাদা অধঃক্ষেপ পড়ে, পরে অতিরিক্ত অ্যামোনিয়াম হাইড্রক্সাইড যোগ করলে এই অধঃক্ষেপ দ্রবীভূত হয়ে **টেট্রা অ্যামিন কপার (II)** সালফেট লবণের গাঢ় **নীল রং-এর** দ্রবণ উৎপন্ন করে।

$$2CuSO_4 + 2NH_4OH = \underset{\text{বেসিক কপার সালফেট}}{Cu(OH)_2, CuSO_4 \downarrow} + (NH_4)_2SO_4$$

$$Cu(OH)_2, CuSO_4 + (NH_4)_2SO_4 + 6NH_4OH = \underset{\text{টেট্রা অ্যামিন কপার (II) সালফেট}}{2[Cu(NH_3)_4]SO_4} + 8H_2O$$

অদ্রাব্য AgCl-এর সঙ্গে অতিরিক্ত NH_4OH যোগ করলে দ্রাব্য ডাই অ্যামিন সিলভার (I) **ক্লোরাইড** উৎপন্ন হয়।

$$AgCl \downarrow + 2NH_4OH = \underset{\text{ডাই অ্যামিন সিলভার (I) ক্লোরাইড}}{[Ag(NH_3)_2]\, Cl} + 2H_2O$$

(ii) $ZnSO_4$ দ্রবণে NH_4OH ধীরে ধীরে যোগ করলে প্রথমে $Zn(OH)_2$-এর **সাদা অধঃক্ষেপ পড়ে,** অতিরিক্ত NH_4OH যোগ করলে **টেট্রা অ্যামিন জিঙ্ক (II) সালফেট** নামে জটিল লবণ উৎপন্ন হয়ে বর্ণহীন দ্রবণ উৎপন্ন করে।

$$\text{(i)} \quad ZnSO_4 + 2NH_4OH = Zn(OH)_2 \downarrow + (NH_4)_2\, SO_4$$

$$\text{(ii)} \quad Zn(OH)_2 + 2NH_4OH + (NH_4)_2SO_4 = \underset{\text{টেট্রা অ্যামিন জিঙ্ক (II) সালফেট}}{[Zn(NH_3)_4]\, SO_4} + 4H_2O$$

(8) যুত যৌগ সৃষ্টি ঃ ক্যালশিয়াম ক্লোরাইড, জিঙ্ক ক্লোরাইড প্রভৃতি যৌগের সঙ্গে অ্যামোনিয়া যুত যৌগের সৃষ্টি করে।

$$CaCl_2 + 8NH_3 = CaCl_2,\ 8NH_3$$

(9) নেসলার দ্রবণের সঙ্গে বিক্রিয়া ঃ পটাশিয়াম মারকিউরিক আয়োডাইডের $[K_2HgI_4]$ ক্ষারীয় দ্রবণকে নেস্‌লার বিকারক বলে।

অ্যামোনিয়া এই দ্রবণের সংস্পর্শে এলে **তামাটে রং-এর অধঃক্ষেপ দেয়।**

$$NH_3 + \underset{\text{নেসলার দ্রবণ}}{2K_2HgI_4 + 3KOH} = \underset{\substack{\text{মিলন বেসের আয়োডাইড} \\ \text{তামাটে অধঃক্ষেপ}}}{I\, [Hg\, O\, Hg\, NH_2] \downarrow} + 7KI + 2H_2O$$

10. কার্বন ডাই-অক্সাইডের সঙ্গে বিক্রিয়া ঃ

(a) 200°C উষ্ণতায় এবং 150 বায়ুমণ্ডল চাপে NH_3-এর সঙ্গে CO_2-এর বিক্রিয়ায় ইউরিয়া উৎপন্ন হয়।

$$CO_2 + 2NH_3 = \underset{\text{ইউরিয়া}}{CO(NH_2)_2} + H_2O$$

(b) NH_3-এর জলীয় দ্রবণে CO_2 গ্যাস চালনা করলে **অ্যামোনিয়াম কার্বনেট** উৎপন্ন হয়।

$$2NH_3 + CO_2 + H_2O = (NH_4)_2\,CO_3$$

● **অ্যামোনিয়ার জলীয় দ্রবণের সঙ্গে পটাশিয়াম পারম্যাঙ্গানেটের বিক্রিয়া দ্বারা কীভাবে নাইট্রোজেন পাওয়া যায়?**

(i) প্রশম দ্রবণে $KMnO_4$ বিয়োজিত হয়—

$$\begin{aligned}(2KMnO_4 &= 2MnO_2 + K_2O + 3O) \times 2\\ 4NH_3 + 6O &= 2N_2 + 6H_2O\\ 2K_2O + 2H_2O &= 4KOH\\ \hline 4KMnO_4 + 4NH_3 &= 4KOH + 2N_2 + 4MnO_2 + 4H_2O\end{aligned}$$

(ii) NH_3 ইলেকট্রন ঘাটতি বিশিষ্ট যৌগ BF_3-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে সুস্থিত যৌগ উৎপন্ন করে।

$$NH_3 + BF_3 = [H_3N \rightarrow BF_3]$$

●**অ্যামোনিয়ার শনাক্তকরণ ঃ (i)** কপার সালফেট দ্রবণে অতিরিক্ত NH_4OH যোগ করলে গাঢ় নীল বর্ণের টেট্রা-অ্যামিন কপার (II) সালফেট জটিল লবণ উৎপন্ন করে।

(ii) অ্যামোনিয়া নেসলার বিকারকের সংস্পর্শে বাদামি অধঃক্ষেপ উৎপন্ন করে।

(iii) গাঢ় HCl দ্বারা সিক্ত কাচদণ্ড NH_3-এর সংস্পর্শে এলে ঘন সাদা ধোঁয়ার সৃষ্টি করে।

● **দেখাও অ্যামোনিয়ায় N_2 এবং H_2 আছে ঃ**

(i) একটি দহন-নলের মধ্যে কালো কিউপ্রিক অক্সাইড রেখে তীব্রভাবে উত্তপ্ত করা হল। ওই উত্তপ্ত অবস্থায় CuO-এর উপর দিয়ে NH_3 গ্যাস চালনা করা হল। বিক্রিয়ার ফলে নির্গত গ্যাসকে একটি নির্গম-নলের সাহায্যে দহন-নল থেকে বের করে জলের নিম্ন অপসারণ দ্বারা গ্যাসজারে সংগ্রহ করা হল। এই সংগৃহীত গ্যাসের মধ্যে জ্বলন্ত পাটকাঠি ধরলে নিভে যায়, জ্বলন্ত Mg ফিতা জ্বলতে থাকে এবং সাদা অবশেষ উৎপন্ন করে। এই অবশেষকে ফুটন্ত জলের সঙ্গে বিক্রিয়া করালে ঝাঁঝালো গন্ধবিশিষ্ট NH_3 উৎপন্ন হয়। অতএব প্রমাণিত হল সাদা অবশেষটি ম্যাগনেশিয়াম নাইট্রাইড। কারণ নাইট্রাইডের সঙ্গে ফুটন্ত জলের বিক্রিয়ায় NH_3 উৎপন্ন হয়। ম্যাগনেশিয়াম নাইট্রাইডের N_2 অ্যামোনিয়া থেকে এসেছে।

$$3CuO + 2NH_3 = 3Cu + N_2 + 3H_2O$$

$$3Mg + N_2 = Mg_3N_2\;; \qquad Mg_3N_2 + 6H_2O = 3Mg(OH)_2 + 2NH_3\uparrow$$

(ii) 360°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত ধাতব সোডিয়ামের উপর দিয়ে শুষ্ক NH_3 চালনা করলে বর্ণহীন গ্যাস নির্গত হয়। এই গ্যাসকে গ্যাসজারে সংগ্রহ করে এর মধ্যে জ্বলন্ত পাটকাটি প্রবেশ করালে পাটকাঠি নিভে যায় অথচ গ্যাসটি নীল শিখায় জ্বলে। অতএব প্রমাণিত হল গ্যাসটি H_2, এই H_2 অ্যামোনিয়া থেকে এসেছে।

$$2Na + 2NH_3 = 2NaNH_2 + H_2$$

●**অ্যামোনিয়া ক্ষারধর্মী**—এর কারণ হল, N পরমাণুর আকার ছোটো হওয়ার জন্য NH_3 অণুর মধ্যে ইলেকট্রন ঘনত্ব খুব বেশি হয়। ফলে N-পরমাণুর নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন জোড়ের উপর একটি বিকর্ষণ বল প্রযুক্ত হয়। যার জন্য NH_3 অণু তার নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন জোড়টিকে খুব সহজেই কোনো অ্যাসিডের প্রতিস্থাপনীয় H অর্থাৎ প্রোটনকে (H^+) অ্যামোনিয়া দান করতে পারে। প্রোটনকে H^+ ওই ইলেকট্রন জোড় দান করে অ্যামোনিয়া NH_4^+ আয়নে পরিণত হয়। লুইসের মতবাদ অনুসারে যে পদার্থ ইলেকট্রন দান করে তাকেই ক্ষার বলে, সুতরাং অ্যামোনিয়া একটি ক্ষার। যেমন, NH_3 জলের প্রোটনকে ইলেকট্রন যুগল দান করে NH_4^+ আয়নে পরিণত হয় যা জলের OH^- আয়নের সঙ্গে যুক্ত হয়ে NH_4OH ক্ষার উৎপন্ন করে।



● **নাইট্রোজেন থেকে অ্যামোনিয়া এবং অ্যামোনিয়া থেকে নাইট্রোজেন প্রস্তুতি ঃ**

(i) উত্তপ্ত ম্যাগনেশিয়াম ধাতুর উপর দিয়ে N_2 গ্যাস চালনা করলে ম্যাগনেশিয়াম নাইট্রাইড উৎপন্ন হয়। উৎপন্ন Mg_3N_2-এর সঙ্গে ফুটন্ত জলের বিক্রিয়ায় ম্যাগনেশিয়াম হাইড্রক্সাইড ও অ্যামোনিয়া পাওয়া যায়।

$$3Mg + N_2 = Mg_3N_2; \qquad Mg_3N_2 + 6H_2O = 3Mg(OH)_2 + 2NH_3$$

(ii) উত্তপ্ত কিউপ্রিক অক্সাইডের উপর দিয়ে অ্যামোনিয়া গ্যাস চালনা করলে, অ্যামোনিয়া CuO দ্বারা জারিত হয়ে N_2 উৎপন্ন করে।

$$3CuO + 2NH_3 = 3Cu + N_2\downarrow + 3H_2O$$

● **অ্যামোনিয়া থেকে ইউরিয়া ঃ** 250°C উষ্ণতায় 150 বায়ুমণ্ডল চাপে একটি অটোক্লেভের মধ্যে তরল অ্যামোনিয়ার সঙ্গে CO_2-এর বিক্রিয়ায় ইউরিয়া উৎপন্ন হয়। বিক্রিয়াটি 2টি ধাপে ঘটে। প্রথম ধাপে অ্যামোনিয়ার সঙ্গে CO_2-এর বিক্রিয়ায় অ্যামোনিয়া কার্বামেট উৎপন্ন হয়। দ্বিতীয় ধাপে উৎপন্ন কার্বামেট বিয়োজিত হয়ে ইউরিয়া উৎপন্ন করে।

$$2NH_3 + CO_2 \rightleftharpoons \underset{\text{অ্যামোনিয়াম কার্বামেট}}{NH_2COONH_4} \qquad NH_2COONH_4 = \underset{\text{ইউরিয়া}}{NH_2\text{–}CO\text{–}NH_2} + H_2O$$

● **অ্যামোনিয়া থেকে HNO_3 এবং HNO_3 থেকে অ্যামোনিয়া ঃ**

(i) ($NH_3 \rightarrow HNO_3$) অ্যামোনিয়া ও অক্সিজেনের মিশ্রণকে দ্রুত 700°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত প্ল্যাটিনাম তারজালির মধ্য দিয়ে চালনা করলে অ্যামোনিয়া O_2 দ্বারা জারিত হয়ে নাইট্রিক অক্সাইড উৎপন্ন করে। এই NO বায়ুর O_2-এর সঙ্গে যুক্ত হয়ে NO_2-তে পরিণত হয়। NO_2-এর সঙ্গে গরম জলের বিক্রিয়ায় HNO_3 এবং NO উৎপন্ন হয়।

$$4NH_3 + 5O_2 = 4NO + 6H_2O; \qquad 2NO + O_2 = 2NO_2$$

$$3NO_2 + H_2O = \mathbf{2HNO_3} + NO$$

(ii) ($HNO_3 \rightarrow NH_3$) সোডিয়াম হাইড্রক্সাইডের সঙ্গে HNO_3-এর বিক্রিয়ায় সোডিয়াম নাইট্রেট উৎপন্ন হয়।

$$HNO_3 + NaOH = NaNO_3 + H_2O$$

উৎপন্ন $NaNO_3$ এবং জিঙ্ক চূর্ণের মিশ্রণকে গাঢ় এবং উত্তপ্ত NaOH দ্রবণের সঙ্গে বিক্রিয়া করালে অ্যামোনিয়া গ্যাস পাওয়া যায়।

$$NaNO_3 + 4Zn + 7NaOH = 4Na_2ZnO_2 + \mathbf{NH_3} + 2H_2O$$

● **N_2 অণুতে দুটি নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল আছে কিন্তু অ্যামোনিয়া অণুতে একটিমাত্র নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল থাকা সত্ত্বেও অ্যামোনিয়া ক্ষারকীয় কিন্তু N_2-এর কোনো ক্ষারকীয় ধর্ম নেই কেন?**

নাইট্রোজেন অণুর ইলেকট্রন যুগল দুটি *sp*-সংকরায়িত অর্বিট্যালের অন্তর্ভুক্ত [$:N\equiv N:$]

কিন্তু NH_3 অণুর একটি নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল sp^3 সংকরায়িত অর্বিট্যালে অবস্থান করে। *sp* সংকর কক্ষকে *s* কক্ষকের পরিমাণ 50% এবং *p* কক্ষকের পরিমাণ 50%, কিন্তু sp^3 কক্ষকে *p*-এর পরিমাণ 75%। সংকর কক্ষকে যত *p*-এর পরিমাণ বৃদ্ধি পায় ততই তা নিউক্লিয়াস থেকে দূরে অবস্থান করে এবং নিউক্লিয়াসের প্রতি আকর্ষণ কম থাকে। এর ফলে NH_3 তার নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন জোড়কে সহজেই প্রোটনকে (H^+) দান করতে পারে। যৌগের ক্ষারকীয় ধর্ম নির্ভর করে তার ইলেকট্রন যুগল প্রোটনকে দান করার ক্ষমতার উপর। যেহেতু NH_3-এর ইলেকট্রন যুগল দান করার ক্ষমতা N_2-এর চেয়ে বেশি, তাই NH_3 ক্ষারকীয় কিন্তু N_2 নয়। কোনো যৌগের ক্ষারকীয় ধর্ম নির্ভর করে তার নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল দান করার ক্ষমতার উপর—সংখ্যার উপর নয়।

1.15. নাইট্রোজেনের বিভিন্ন অক্সাইড [Oxides of nitrogen]

[1] নাইট্রাস অক্সাইড [Nitrous oxide (N_2O)]

(A) প্রস্তুতি (Preparation) ঃ

(1) পরীক্ষাগার প্রস্তুতি ঃ পরীক্ষাগারে অ্যামোনিয়াম নাইট্রেটকে উত্তপ্ত করে নাইট্রাস অক্সাইড প্রস্তুত করা হয়। তবে 250°C উষ্ণতায় অ্যামোনিয়াম নাইট্রেটের বিয়োজন বিক্রিয়া এতো দ্রুত হয় যে বিস্ফোরণ ঘটার সম্ভাবনা থাকে। তাই সরাসরি অ্যামোনিয়াম নাইট্রেটকে উত্তপ্ত না করে অ্যামোনিয়াম সালফেট ও সোডিয়াম নাইট্রেটের মিশ্রণকে 200°C-এর কাছাকাছি উষ্ণতায় উত্তপ্ত করা হয়। বিক্রিয়ার ফলে প্রথমে $(NH_4)_2SO_4$ ও $NaNO_3$-এর বিক্রিয়ায় NH_4NO_3 উৎপন্ন হয় যা তাপ বিয়োজিত হয়ে নাইট্রাস অক্সাইড উৎপন্ন করে।

$$(NH_4)_2SO_4 + 2NaNO_3 = 2NH_4NO_3 + Na_2SO_4$$

$$NH_4NO_3 = N_2O + 2H_2O$$

(2) নাইট্রাস অ্যাসিডের সাথে **হাইড্রক্সিল অ্যামিনের** বিক্রিয়ায় নাইট্রাস অক্সাইড উৎপন্ন হয়।

$$NH_2OH + HNO_2 = N_2O + 2H_2O$$

(3) শীতল এবং লঘু **নাইট্রিক অ্যাসিডের** সাথে **কপার বা জিঙ্কের** বিক্রিয়ায় নাইট্রাস অক্সাইড উৎপন্ন হয়।

$$4Cu + 10HNO_3 = 4Cu(NO_3)_2 + N_2O + 5H_2O$$

(4) আর্দ্র আয়রন চূর্ণের সঙ্গে **নাইট্রিক অক্সাইডের** বিক্রিয়ায় N_2O উৎপন্ন হয়।

$$2NO + Fe + H_2O = N_2O + Fe(OH)_2$$

(5) হাইড্রক্সিল-অ্যামিন হাইড্রোক্লোরাইডের সঙ্গে $NaNO_2$-এর বিক্রিয়া দ্বারা N_2O উৎপন্ন হয়।

$$NH_2OH.\ HCl + NaNO_2 = NaCl + N_2O + 2H_2O$$

(B) ধর্ম (Properties) ঃ

(i) নাইট্রাস অক্সাইড সামান্য মিষ্টি গন্ধযুক্ত বর্ণহীন গ্যাস **বাতাসের চেয়ে দেড়গুণ ভারী।** ঠান্ডা জল ও কোহলে দ্রাব্য কিন্তু গরম জলে প্রায় অদ্রাব্য। প্রশ্বাসের সঙ্গে সঙ্গে অল্প পরিমাণে গ্রহণ করলে হাসির উদ্রেক হয়। কিন্তু অতিরিক্ত N_2O গ্রহণ করলে অজ্ঞান হয়ে মৃত্যু হতে পারে।

(ii) নাইট্রাস অক্সাইড একটি প্রশম অক্সাইড। এই গ্যাস লিটমাস-দ্রবণের রং পরিবর্তন করতে পারে না।

(iii) এই গ্যাস নিজে জ্বলে না, কিন্তু অক্সিজেনের মতো অন্য পদার্থকে জ্বলতে সাহায্য করে। **শিখাহীন জ্বলন্ত কার্বন, সালফার, ফসফরাস, উত্তপ্ত কপার, আয়রন** ইত্যাদি এই গ্যাসের মধ্যে উজ্জ্বল শিখায় জ্বলে ওঠে এবং **জারিত হয়ে অক্সাইডে** পরিণত হয়। **তাপের প্রভাবে নাইট্রাস অক্সাইড প্রথমে ভেঙে নাইট্রোজেন ও অক্সিজেনে পরিণত হয়। এই অক্সিজেন দহনে সাহায্য করে।**

$$2N_2O = 2N_2 + O_2\ (600^\circ C)$$

$$2N_2O + S = SO_2 + 2N_2, \qquad N_2O + Cu = CuO + N_2$$

$$2N_2O + C = CO_2 + 2N_2, \qquad N_2O + Fe = FeO + N_2$$

উত্তপ্ত Na, K নাইট্রাস অক্সাইডের মধ্যে জ্বলতে থাকে এবং বিক্রিয়ার ফলে ধাতব পারক্সাইড ও N_2 উৎপন্ন করে—

$$2Na + 2N_2O = Na_2O_2 + 2N_2$$

(iv) অ্যামোনিয়ার সঙ্গে নাইট্রাস অক্সাইডের বিক্রিয়া বিস্ফোরণ সহ ঘটে N_2 এবং H_2O উৎপন্ন হয়।

$$3N_2O + 2NH_3 = 4N_2 + 3H_2O$$

● **নাইট্রাস অক্সাইডের জারণ ক্ষমতা আছে—প্রমাণ।**

উত্তপ্ত **লাল বর্ণের ধাতব কপারের** উপর দিয়ে N_2O গ্যাস চালনা করলে ধাতব Cu জারিত হয়ে **কালো কিউপ্রিক অক্সাইডে** পরিণত হয় এবং নাইট্রাস অক্সাইড বিজারিত হয়ে N_2-তে পরিণত হয়।

$$\overset{0}{Cu} + \overset{+1}{N_2}O = \overset{+2}{Cu}O + \overset{0}{N_2}$$

● **শিখাহীন জ্বলন্ত পাটকাঠি অক্সিজেনের চেয়ে নাইট্রাস অক্সাইডের মধ্যে আরো তীব্রভাবে জ্বলে,** এর কারণ, নাইট্রাস অক্সাইড তাপে (600ºC) বিয়োজিত হয়ে নাইট্রোজেন এবং জায়মান অক্সিজেন দেয়। $N_2O = N_2 + O\uparrow$। কিন্তু O_2 অণু আরও বেশি তাপমাত্রায় বিয়োজিত হয়ে জায়মান অক্সিজেন দেয়। একটি মৌল তার আণবিক অবস্থায় চেয়ে জায়মান অবস্থায় আরও বেশি সক্রিয় হয়। যেহেতু N_2O থেকে সহজেই জায়মান O পাওয়া যায়, তাই জ্বলন্ত পাটকাঠির দহন N_2O-এর মধ্যে O_2-এর চেয়ে তীব্রভাবে হতে থাকে, ফলে কাঠিটি তীব্রভাবে জ্বলতে থাকে।

● **নাইট্রাস অক্সাইড এবং অক্সিজেন গ্যাস শনাক্ত করার উপায় ঃ**

(i) বর্ণহীন নাইট্রিক অক্সাইড গ্যাসের সংস্পর্শে O_2 এলে বাদামি বর্ণের নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইড উৎপন্ন হয়।

$$2NO + O_2 = 2NO_2$$

বর্ণহীন নাইট্রিক অক্সাইডের সংস্পর্শে N_2O এলে কোনো বিক্রিয়া হয় না ফলে NO-এর বর্ণের কোনো পরিবর্তন হয় না।

(ii) O_2 গ্যাস ক্ষারীয় পাইরোগ্যালেট দ্রবণে শোষিত হয়ে দ্রবণের বর্ণ বাদামি করে। ক্ষারীয় পাইরোগ্যালেট দ্রবণে N_2O শোষিত হয় না ফলে দ্রবণের বর্ণের কোনো পরিবর্তন হয় না।

নাইট্রাস অক্সাইডের শোষক ঃ অ্যালকোহলে নাইট্রাস অক্সাইড শোষিত হয়।

(C) ব্যবহার (Uses) ঃ দাঁতের চিকিৎসা এবং অস্ত্রোপচারে চেতনানাশক ওযুধরূপে **নাইট্রাস অক্সাইড** ব্যবহার করা হয়।

● **নাইট্রাস অক্সাইডের আণবিক গঠন ঃ** আণবিক বর্ণালি পরীক্ষায় ও রঞ্জন রশ্মির বিবর্তন পরীক্ষায় দেখা গেছে নাইট্রাস অক্সাইডের অণুতে দুটি নাইট্রোজেন পরমাণু সরাসরি পরস্পরের সাথে যুক্ত থাকে এবং অক্সিজেন পরমাণুটি একটি N পরমাণুর সঙ্গে অসমযোজী বন্ধন দ্বারা যুক্ত থাকে। পরমাণু তিনটি একরেখায় থাকে। এই অসমযোজী বন্ধন সৃষ্টি হওয়ায় পজিটিভ এবং নেগেটিভ আধান সৃষ্টি হয়ে সংস্পন্দন জনিত (Resonance) গঠনের জন্য অণুটি স্থায়ী হয়। বিপরীত আধান সৃষ্টি হওয়ার জন্য N_2O-এর অণু দ্বিমেরু অণু।

$$:N \equiv \overset{+}{N} \rightarrow \underset{\cdot\cdot}{\overset{\cdot\cdot}{O}}:^{-} \longleftrightarrow :\overset{\cdot\cdot -}{N} \rightleftharpoons \overset{+}{N} = \overset{\cdot\cdot}{O}:$$

[2] নাইট্রিক অক্সাইড [Nitric oxide (NO)]

নাইট্রিক অ্যাসিডের উপরে ধাতুর বিক্রিয়া পরীক্ষা করার সময় 1772 সালে **প্রিস্টলে** এই গ্যাসটির সন্ধান পান। এই গ্যাসটির তিনি নামকরণ করেন নাইট্রাস বায়ু; কারণ বায়ুর সংস্পর্শে এলেই এই গ্যাস বাদামি রঙের গ্যাসে পরিণত হয়।

(A) প্রস্তুতি (Preparation) ঃ

(1) পরীক্ষাগার প্রস্তুতি ঃ সাধারণ তাপমাত্রায় নাতি গাঢ় (1 ঃ 1) নাইট্রিক অ্যাসিডের সঙ্গে কপারের বিক্রিয়ায় নাইট্রিক অক্সাইড উৎপন্ন হয়।

$$3Cu + 8HNO_3 = 3Cu(NO_3)_2 + 2NO + 4H_2O$$

এভাবে প্রস্তুত NO-এর সঙ্গে সামান্য N_2 এবং নাইট্রোজেনের অন্যান্য অক্সাইড মিশ্রিত থাকে। সেজন্য গ্যাসটিকে সদ্য প্রস্তুত $FeSO_4$ দ্রবণে চালনা করা হয়। $FeSO_4$ শুধু নাইট্রিক অক্সাইডকে শোষণ করে বাদামি বর্ণের নাইট্রোসো ফেরাস সালফেট $[Fe(H_2O)_5NO]SO_4$ যৌগ উৎপন্ন করে। এই বাদামি বর্ণের তরলটিকে সংগ্রহ করে উত্তপ্ত করলে বিশুদ্ধ নাইট্রিক অক্সাইড বেরিয়ে আসে। নির্গত NO-কে গাঢ় H_2SO_4-এর মধ্য দিয়ে চালনা করে জল মুক্ত করার পর পারদের উপর সংগ্রহ করা হয়।

(2) পটাশিয়াম নাইট্রেট, ফেরাস সালফেট এবং লঘু H_2SO_4-এর মিশ্রণকে উত্তপ্ত করে নাইট্রিক অক্সাইড উৎপন্ন করা যায়। উৎপন্ন NO-কে গাঢ় H_2SO_4 দ্বারা শুষ্ক করে পারদের উপর সংগ্রহ করা হয়।

$$2KNO_3 + 6FeSO_4 + 4H_2SO_4 = 3Fe_2(SO_4)_3 + K_2SO_4 + 2NO\uparrow + 4H_2O$$

(3) 700°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত প্ল্যাটিনাম অনুঘটকের উপর দিয়ে NH_3 এবং O_2-এর মিশ্রণ চালনা করলে NH_3 জারিত হয়ে NO-তে পরিণত হয়।

$$4NH_3 + 5O_2 = 4NO + 6H_2O$$

(B) ধর্ম (Properties) ঃ

(i) নাইট্রিক অক্সাইড বাতাসের চেয়ে সামান্য ভারী, বর্ণহীন গ্যাস, জলে সামান্য দ্রবণীয়।

(ii) নাইট্রিক অক্সাইড একটি প্রশম অক্সাইড।

(iii) গ্যাসটি দাহ্য নয় বা সামান্য উত্তাপে বিয়োজিত হয় না তাই দহনে সাহায্য করে না। সুতরাং **দেখা যায় নাইট্রিক অক্সাইডের মধ্যে জ্বলন্ত কার্বন বা সালফার নিভে যায়, কিন্তু উচ্চ উষ্ণতায়** (1000°C) **NO বিয়োজিত হয়ে N_2 এবং O_2 উৎপন্ন করে, সেইজন্য তীব্রভাবে জ্বলন্ত কার্বন, জ্বলন্ত ফসফরাস বা ম্যাগনেশিয়াম, নাইট্রিক অক্সাইডকে বিয়োজিত করে নাইট্রোজেন ও অক্সিজেন উৎপন্ন করে।** এই মুক্ত অক্সিজেন ওইগুলিকে জারিত করে।

$$2NO = N_2 + O_2, \qquad P_4 + 10NO = 2P_2O_5 + 5N_2$$

$$C + 2NO = CO_2 + N_2, \qquad 2Mg + 2NO = 2MgO + N_2$$

(iv) জারণ ধর্ম ঃ নাইট্রিক অক্সাইড নিজে বিজারিত হয়ে **নাইট্রোজেন** অথবা অ্যামোনিয়া বা **নাইট্রাস অক্সাইডে** পরিণত হয়ে অপরকে জারিত করে—

(a) উত্তপ্ত প্ল্যাটিনাম ব্ল্যাকের উপর দিয়ে NO এবং H_2-এর মিশ্রণকে অতিক্রম করালে নাইট্রিক অক্সাইড বিজারিত হয়ে অ্যামোনিয়াতে পরিণত হয় এবং H_2 জারিত হয়ে H_2O-তে পরিণত হয়।

$$2\overset{+2}{N}O + 5\overset{0}{H_2} = 2\overset{-3}{N}H_3 + 2\overset{+1}{H_2}O$$

(b) উত্তপ্ত সোডিয়াম, পটাশিয়াম, কপার প্রভৃতি ধাতুর উপর দিয়ে NO গ্যাস প্রবাহিত করলে ধাতুগুলি জারিত হয়ে নিজ নিজ অক্সাইডে পরিণত হয় এবং NO বিজারিত হয়ে N_2-তে পরিণত হয়।

$$4\overset{0}{Na} + 2\overset{+2}{N}O = 2\overset{+1}{Na}_2O + \overset{0}{N}_2 ; \qquad 2\overset{0}{Cu} + 2\overset{+2}{N}O = 2\overset{+2}{Cu}O + \overset{0}{N}_2$$

(c) কার্বন ডাই সালফাইড বাষ্প এবং NO-এর মিশ্রণ নীল শিখায় জ্বলে এবং CS_2 জারিত হয়ে কার্বন মনোক্সাইডে পরিণত হয়।

$$2CS_2 + 10NO = 2CO + 4SO_2 + 5N_2$$

NO গ্যাস সালফিউরাস অ্যাসিডকে সালফিউরিক অ্যাসিডে জারিত করে।

$$2NO + H_2\overset{+4}{S}O_3 = H_2\overset{+6}{S}O_4 + N_2O$$

(v) নাইট্রিক অক্সাইড ফেরাস সালফেট দ্রবণে সাধারণ উষ্ণতায় নাইট্রোসো ফেরাস সালফেট নামে যুত যৌগ উৎপন্ন করে। তাপ প্রয়োগে এই যুত যৌগ আবার ভেঙে যায়।

$$FeSO_4 + NO = Fe(NO)SO_4 \qquad \text{তাপ প্রয়োগে : } Fe(NO)SO_4 = FeSO_4 + NO\uparrow$$

আগে এই যুত যৌগটি নাইট্রোসো ফেরাস সালফেট নামে পরিচিত ছিল। কিন্তু আধুনিক গবেষণার ফলে জানা গেছে যৌগটির সঠিক সংকেত হল— $[Fe(H_2O)_5(NO)]SO_4$।

(vi) অক্সিজেনের সঙ্গে বিক্রিয়া : NO গ্যাস অক্সিজেনের সংস্পর্শে এলেই বাদামি রং-এর নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইড উৎপন্ন করে।

$$2NO + O_2 = 2NO_2$$

(vii) যুত যৌগ গঠন : চারকোল অনুঘটকের উপস্থিতিতে নাইট্রিক অক্সাইড, ক্লোরিন অথবা ব্রোমিনের সঙ্গে যুক্ত হয়ে যথাক্রমে **নাইট্রোসিল ক্লোরাইড** এবং **নাইট্রোসিল ব্রোমাইড** উৎপন্ন করে।

$$2NO + Cl_2 = 2NOCl, \qquad 2NO + Br_2 = 2NOBr$$

(viii) বিজারণ ধর্ম (Reducing property) **: আম্লিক $KMnO_4$ দ্রবণ বা আয়োডিন দ্রবণকে** NO বিজারিত করে যথাক্রমে **বর্ণহীন ম্যাঙ্গানাস লবণে এবং HI**-তে পরিণত করে এবং নিজে জারিত হয়ে **নাইট্রিক অ্যাসিডে** পরিণত হয়।

$$3K\overset{+7}{Mn}O_4 + 6H_2SO_4 + 5\overset{+2}{N}O = 3KHSO_4 + 3\overset{+2}{Mn}SO_4 + 5H\overset{+5}{N}O_3 + 2H_2O$$

$$3\overset{0}{I}_2 + 2\overset{+2}{N}O + 4H_2O = 2H\overset{+5}{N}O_3 + 6H\overset{-1}{I}$$

এই NO আবার O_2-এর সঙ্গে যুক্ত হয়ে NO_2-তে পরিণত হয় এবং SO_2-কে জারিত করে তাই NO-কে O_2 বাহক বলা হয়।

● **নাইট্রিক অক্সাইডের শনাক্তকরণ : (i)** নাইট্রিক অক্সাইড—অক্সিজেন বা বাতাসের সংস্পর্শে এলেই জারিত হয়ে বাদামি রং-এর নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইড উৎপন্ন হয়।

(ii) নাইট্রিক অক্সাইড— ফেরাস সালফেট দ্রবণে শোষিত হয়ে বাদামি রং-এর যৌগ $[Fe(H_2O)_5NO]SO_4$ উৎপন্ন করে।

● **নাইট্রিক অক্সাইডের আণবিক গঠন :** NO একটি সরল রৈখিক অণু। এতে একটি বিজোড় ইলেকট্রন বর্তমান। NO-এর ইলেকট্রন ডট সংকেত হল—

$\dot{N} = O$: অথবা : N $\overset{\circ\circ\circ}{=}$ O :

[3] নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইড (NO_2) বা ডাই নাইট্রোজেন টেট্রোক্সাইড (N_2O_4)

(A) প্রস্তুতি (Preparation) :

(1) পরীক্ষাগার প্রস্তুতি : পরীক্ষাগারে লেড নাইট্রেট লবণকে উচ্চ উষ্ণতায় বিয়োজিত করে নাইট্রোজেন ডাই অক্সাইড উৎপন্ন করা হয়।

$$2Pb(NO_3)_2 = 2PbO + 4NO_2 + O_2$$

এভাবে উৎপন্ন নাইট্রোজেন ডাই অক্সাইড ও O_2-এর মিশ্রণকে হিম মিশ্রণে রাখা একটি U-টিউবের মধ্য দিয়ে চালনা করলে NO_2 হলুদ বর্ণের তরল রূপে U-টিউবে জমা হয় কিন্তু O_2 গ্যাস বেরিয়ে যায়। এই তরলকে গরম জলের উপর রাখলে বাদামি বর্ণের গ্যাসরূপে নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইড নির্গত হয়—বায়ুর ঊর্ধ্ব অপসারণ দ্বারা গ্যাসজারে একে সংগ্রহ করা হয়।

(2) নাইট্রিক অ্যাসিড থেকে : গাঢ় HNO_3, ধাতব Cu বা Zn দ্বারা বিজারিত হয়ে NO_2 উৎপন্ন করে। গাঢ় HNO_3-কে উত্তপ্ত ঝামা পাথরের উপর ফোঁটা ফোঁটা ফেললে, HNO_3 বিয়োজিত হয়ে NO_2 উৎপাদন করে।

$$Cu + 4HNO_3 = Cu(NO_3)_2 + 2NO_2 + 2H_2O$$

$$4HNO_3 = 2H_2O + 4NO_2 + O_2$$

(3) নাইট্রিক অক্সাইড থেকে ঃ বর্ণহীন নাইট্রিক অক্সাইড অক্সিজেন দ্বারা জারিত হয়ে বাদামি বর্ণের NO_2 উৎপন্ন করে। হিমমিশ্রে রাখা একটি U-টিউবের মধ্য দিয়ে 2 আয়তন NO এবং এক আয়তন O_2-এর মিশ্রণ চালনা করলে হলুদ বর্ণের তরলরূপে NO_2 U-টিউবে জমা হয়। $2NO + O_2 = 2NO_2$

(B) ধর্ম (Properties) ঃ

ভৌত ধর্ম ঃ সাধারণ উষ্ণতায় নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইড বাদামি গ্যাস। –9°C উষ্ণতায় এই গ্যাস বর্ণহীন কেলাসে পরিণত হয়। এই অবস্থায় এর অণুগুলি N_2O_4 রূপে বর্তমান থাকে। উষ্ণতা বাড়ালে N_2O_4 কঠিন থেকে হলুদ তরলে পরিণত হয় এবং 22°C উষ্ণতায় তরলটি ফুটতে থাকে ও বাদামি গ্যাসে পরিণত হয়। 140°C তাপমাত্রায় N_2O_4 অণুগুলি সম্পূর্ণরূপে বিয়োজিত হয়ে NO_2-তে পরিণত হয়। 620°C উষ্ণতায় এই গ্যাসের রং ফিকে হয়ে আসে, কারণ তখন NO_2-এর অণু বিয়োজিত হয়ে অক্সিজেন ও NO উৎপন্ন করে।

$$\underset{\text{কঠিন বর্ণহীন}}{N_2O_4} \overset{-9^\circ C}{\rightleftharpoons} \underset{\text{তরল হলুদ}}{N_2O_4} \overset{22^\circ C}{\rightleftharpoons} \underset{\text{বাদামি গ্যাস}}{N_2O_4} \overset{140^\circ C}{\rightleftharpoons} \underset{\text{বাদামি গ্যাস}}{2NO_2} \overset{620^\circ C}{\rightleftharpoons} \underset{\text{বর্ণহীন}}{2NO + O_2}$$

রাসায়নিক ধর্ম ঃ

(1) নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইড একটি আম্লিক অক্সাইড। (a) গরম জলে দ্রবীভূত হয়ে নাইট্রিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে।

$$3NO_2 + H_2O = 2HNO_3 + NO$$

(b) NO_2 ঠান্ডা জলের সঙ্গে যুক্ত হয়ে নাইট্রিক অ্যাসিড এবং নাইট্রাস অ্যাসিড উৎপন্ন করে। এইজন্য NO_2-কে মিশ্র অ্যাসিড অ্যানহাইড্রাইড বলে।

$$2NO_2 + H_2O = HNO_3 + HNO_2$$

(2) কস্টিক সোডার সঙ্গে বিক্রিয়া করে **নাইট্রাইট** এবং **নাইট্রেট** লবণ উৎপন্ন করে।

$$2NO_2 + 2NaOH = NaNO_2 + NaNO_3 + H_2O$$

(3) ডাই-নাইট্রোজেন টেট্রোক্সাইডের জারণ-ক্ষমতা আছে।

(i) সাধারণ উষ্ণতায় NO_2, **কার্বন মনোক্সাইডকে** জারিত করে কার্বন ডাইঅক্সাইডে পরিণত করে।

$$N_2O_4 + 2CO = 2CO_2 + 2NO$$

(ii) হাইড্রোজেন সালফাইডকে জারিত করে হলুদ বর্ণের সালফারের অধঃক্ষেপ উৎপন্ন করে।

$$N_2O_4 + 2H_2S = 2S + 2NO + 2H_2O$$

(iii) বর্ণহীন পটাশিয়াম আয়োডাইডের জলীয় দ্রবণ থেকে **আয়োডিন** মুক্ত হয় ফলে দ্রবণের বর্ণ বাদামি হয়।

$$NO_2 + 2KI + H_2O = 2KOH + I_2 + NO$$

(iv) স্টিমের উপস্থিতিতে SO_2-কে জারিত করে H_2SO_4 উৎপন্ন করে।

$$SO_2 + NO_2 + H_2O = H_2SO_4 + NO$$

(v) এই গ্যাস **লোহিততপ্ত কপারকে জারিত করে** এবং **নাইট্রোজেন** গ্যাস নির্গত হয়।

$$N_2O_4 + 4Cu = 4CuO + N_2$$

(4) গাঢ় H_2SO_4 দ্বারা এই গ্যাস শোষিত হয়ে **নাইট্রোসো-সালফিউরিক** অ্যাসিড উৎপন্ন করে।

$$2NO_2 + H_2SO_4 = SO_2(OH)ONO + HNO_3$$

(5) জ্বলন্ত **ফরফরাস, সালফার, কার্বন, ম্যাগনেশিয়াম** এই গ্যাসের মধ্যে উজ্জ্বলভাবে জ্বলতে থাকে এবং ওই মৌলগুলির **অক্সাইড** এবং **নাইট্রোজেন** উৎপন্ন হয়।

$$2P_4 + 10NO_2 = 4P_2O_5 + 5N_2 ; \quad S + 2NO_2 = 2SO_2 + N_2$$

(6) NO_2 গ্যাসের মধ্যে পটাশিয়াম ধাতু জ্বলে উঠে নাইট্রেট লবণ এবং NO_2 উৎপন্ন করে।

$$K + 2NO_2 = KNO_3 + NO$$

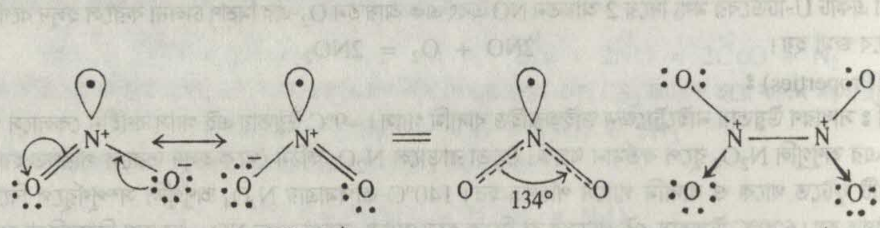
● **শনাক্তকরণ ঃ (i)** বাদামি রং-এর ঝাঁঝাল গন্ধযুক্ত গ্যাস।

(ii) বর্ণহীন KI দ্রবণে NO_2 চালনা করলে বাদামি বর্ণের I_2 মুক্ত হয় যা স্টার্চের সঙ্গে গাঢ় নীলবর্ণের সৃষ্টি করে।

● **NO_2 এবং N_2O_4 -এর গঠন ঃ**

NO_2 অণু সরলরৈখিক নয়—কৌণিক O—N—O বন্ধন কোণ = 134° এবং NO-র বন্ধন দৈর্ঘ্য = 120 pm, N

পরমাণুটিতে অযুগ্ম ইলেকট্রন উপস্থিত থাকায় NO_2 অণু কম উষ্ণতায় ডিমার অণু গঠন করে। NO_2 অণু গঠন হল রেজোন্যান্স হাইব্রিড—



NO_2 অণুর রেজোন্যান্স হাইব্রিড গঠন

N_2O_4 অণুর গঠন

চিত্র 1.7

1.16. নাইট্রিক অ্যাসিড [Nitric acid]

নাইট্রোজেনের সবচেয়ে স্থায়ী এবং গুরুত্বপূর্ণ অক্সি অ্যাসিড হল নাইট্রিক অ্যাসিড। নাইট্রোজেনের অপর একটি গুরুত্বপূর্ণ অক্সি অ্যাসিড হল নাইট্রাস অ্যাসিড (HNO_2)—তবে এই অ্যাসিডটি স্থায়ী নয়।

[A] নাইট্রিক অ্যাসিডের প্রস্তুতি (Preparation of Nitric acid) ঃ

● **পরীক্ষাগার প্রস্তুতি** (Laboratory method) ঃ গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের (b.p. 348ºC) চেয়ে নাইট্রিক অ্যাসিড (b.p. 82·6ºC) অনেক বেশি উদ্‌বায়ী। তাই নাইট্রেট লবণের সঙ্গে গাঢ় H_2SO_4 মিশিয়ে উত্তপ্ত করলে নাইট্রিক অ্যাসিড পাতিত হয়।

বিক্রিয়া ঃ পরীক্ষাগারে পটাশিয়াম নাইট্রেটের সঙ্গে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের বিক্রিয়া দ্বারা নাইট্রিক অ্যাসিড উৎপন্ন করা হয়। বিক্রিয়াটি দুটি পর্যায়ে ঘটে।

প্রথম পর্যায় (1st step) ঃ 200ºC—300ºC উষ্ণতায় পটাশিয়াম নাইট্রেটের সঙ্গে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় **পটাশিয়াম হাইড্রোজেন সালফেট ও নাইট্রিক অ্যাসিড** উৎপন্ন হয়।

$$KNO_3 + H_2SO_4 = KHSO_4 + HNO_3 \uparrow$$

দ্বিতীয় পর্যায় (2nd step) ঃ এইভাবে উৎপন্ন পটাশিয়াম হাইড্রোজেন সালফেট, 800ºC উষ্ণতায় অবিকৃত পটাশিয়াম নাইট্রেটের সঙ্গে বিক্রিয়া করে **পটাশিয়াম সালফেট** ও **নাইট্রিক অ্যাসিড** উৎপন্ন করে।

$$KNO_3 + KHSO_4 = K_2SO_4 + HNO_3 \uparrow$$

● **বিশুদ্ধিকরণ** ঃ এইভাবে উৎপন্ন নাইট্রিক অ্যাসিডের সঙ্গে **জল ও নাইট্রোজেনের ডাইঅক্সাইড দ্রবীভূত থাকে**। এই অ্যাসিডে NO_2 দ্রবীভূত থাকে **সেইজন্য এর রং হলুদ হয়। (i)** এই অ্যাসিডকে 60ºC—70ºC পর্যন্ত উত্তপ্ত করে এর মধ্য দিয়ে বাতাস চালনা করলে NO_2 গ্যাস দূর হয়, তখন অ্যাসিডটি বর্ণহীন এবং স্বচ্ছ হয়। এর পরে একে গাঢ় H_2SO_4-এর সঙ্গে কম চাপে পাতন করলে 98% বিশুদ্ধ নাইট্রিক অ্যাসিড পাওয়া যায়। **(ii)** 98% বিশুদ্ধ নাইট্রিক অ্যাসিডকে –42ºC উষ্ণতায় শীতল করলে নাইট্রিক অ্যাসিড কঠিন হয় তখন একে পৃথক করে নেওয়া হয়।

●নাইট্রিক অ্যাসিড প্রস্তুতিতে গাঢ় H_2SO_4-এর পরিবর্তে গাঢ় HCl ব্যবহার করা হয় না কেন?

নাইট্রেট লবণের সঙ্গে HCl-এর বিক্রিয়ায় HNO_3 উৎপন্ন করা যায় না। কারণ HCl একটি খুব উদ্‌বায়ী অ্যাসিড। HNO_3-এর চেয়ে HCl আরও বেশি উদ্‌বায়ী, তাই নাইট্রেট লবণের সঙ্গে HCl মিশিয়ে উত্তপ্ত করলে HNO_3-এর সঙ্গে বেশি উদ্‌বায়ী HCl-এ পাতিত হয়ে গ্রাহক ফ্লাস্কে চলে আসে এবং HCl ও HNO_3 পরস্পর বিক্রিয়া করে নাইট্রোসিল ক্লোরাইড ও Cl_2 উৎপন্ন করে।

$$3HCl + HNO_3 = NOCl + Cl_2 + 2H_2O$$

H_2SO_4এর স্ফুটনাঙ্ক HNO_3-এর চেয়ে অনেক বেশি (338ºC), HNO_3-এর স্ফুটনাঙ্ক 86ºC। তাই গাঢ় H_2SO_4-এর সঙ্গে নাইট্রেট লবণের বিক্রিয়ায় HNO_3 উৎপন্ন হয় এবং পাতিত হয়ে পাত্রে জমা হয়—H_2SO_4 পাতিত হয়ে উৎপন্ন HNO_3-এর সঙ্গে মিশে যাওয়ার সম্ভাবনা থাকে না।

● **উষ্ণতা না বাড়িয়ে বিক্রিয়াটিকে প্রথম পর্যায়ে (200ºC-300ºC) রাখা হয় কেন?**

(i) উচ্চ উষ্ণতায় (800ºC উষ্ণতায়) নাইট্রিক অ্যাসিড বিশ্লিষ্ট হয়ে NO_2 এবং O_2 উৎপন্ন করে। NO_2 উৎপন্ন নাইট্রিক অ্যাসিডের সঙ্গে মিশে হলুদ রং-এর তরলে পরিণত হয়।

$$4HNO_3 = 2H_2O + 4NO_2 + O_2$$

(ii) বেশি উষ্ণতায় কাচের পাত্র ফেটে যাওয়ার সম্ভাবনা থাকে। তাছাড়া HNO_3 বাষ্প কাচপাত্রের দেয়াল ক্ষয় করে।

(iii) বেশি উষ্ণতায় পটাশিয়াম সালফেট উৎপন্ন হয়। কঠিন হলে পটাশিয়াম সালফেট কাচপাত্রের গায়ে আটকে যায়। তখন পাত্রের ভিতর থেকে একে বের করা কষ্টকর হয়। কম উষ্ণতায় পটাশিয়াম বাই-সালফেট উৎপন্ন হয়। এটি তরল অবস্থায় থাকে বলে পাত্র থেকে বের করা সহজ হয়।

$$KNO_3 + KHSO_4 = K_2SO_4 + HNO_3$$

● **ধূমায়মান নাইট্রিক অ্যাসিড** (Fuming Nitric acid) ঃ গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিডে সামান্য স্টার্চ মিশিয়ে পাতন করলে ধূমায়মান নাইট্রিক অ্যাসিড পাতিত হয়। স্টার্চ HNO_3-এর কিছু অংশকে বিজারিত করে NO_2 এবং N_2O_3-তে পরিণত করে যা অবশিষ্ট HNO_3-এর সঙ্গে মিশে যায়, ফলে ধূমায়মান HNO_3 উৎপন্ন হয়। NO_2উপস্থিত থাকার জন্য এই অ্যাসিডের রং হলদে হয়। **গাঢ় HNO_3-এর চেয়ে ধূমায়মান HNO_3 আরও তীব্র জারক।**

[B] নাইট্রিক অ্যাসিডের ধর্ম (Properties of Nitric acid) ঃ

ভৌত ধর্ম ঃ (i) বিশুদ্ধ নাইট্রিক অ্যাসিড বর্ণহীন স্বচ্ছ **ধূমায়মান জলাকর্ষী তরল। (ii)** নাইট্রিক অ্যাসিডের গন্ধ শ্বাসরোধী, সাধারণ উষ্ণতায় উদ্বায়ী। **(iii)** এর আপেক্ষিক গুরুত্ব 1·52 এবং স্ফুটনাঙ্ক 86ºC; সব উষ্ণতাতেই সামান্য বিয়োজিত হয় এবং N_2O_5 এবং জল উৎপন্ন করে। আলোকের উপস্থিতিতে বিয়োজন দ্রুত হয়। $2HNO_3 \rightarrow N_2O_5 + H_2O$

(iv) নাইট্রিক অ্যাসিড দেহের সংস্পর্শে এলে ক্ষতের সৃষ্টি করে।

রাসায়নিক ধর্ম (Chemical Properties) ঃ

(1) তাপের ক্রিয়া ঃ গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিডকে উত্তপ্ত করলে বিশ্লিষ্ট হয়ে নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইড, অক্সিজেন এবং স্টিমে পরিণত হয়। $4HNO_3 = 2H_2O + 4NO_2 + O_2$

● **গাঢ় HNO_3-কে সূর্যালোকে রাখলে হলুদ হয়ে যায় কেন?**

গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিড তাপে সহজে বিয়োজিত হয়ে NO_2-তে পরিণত হয়। $4HNO_3 = 2H_2O + 4NO_2 + O_2$ এমনকি সূর্যালোকে রাখলেও HNO_3 বিয়োজিত হয়ে যায় এবং বিয়োজনের ফলে উৎপন্ন NO_2 নাইট্রিক অ্যাসিডের সঙ্গে মিশে গিয়ে অ্যাসিডের বর্ণ হলুদ করে দেয়।

(2) অ্যাসিড ধর্ম ঃ নাইট্রিক অ্যাসিড **তীব্র একক্ষারী অ্যাসিড।** জলীয় দ্রবণে HNO_3 অণুর বেশির ভাগ আয়নিত করে H^+ এবং NO_3^- আয়নে পরিণত হয়। এই অ্যাসিড নীল লিটমাসকে লাল করে। একক্ষারী অ্যাসিড বলে **ক্ষার ও ক্ষারক, কার্বনেট, বাইকার্বনেট লবণের সঙ্গে বিক্রিয়া করে নাইট্রেট লবণ উৎপন্ন করে।**

$$HNO_3 + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + NO_3^- \qquad NaOH + HNO_3 = NaNO_3 + H_2O$$

$$NaHCO_3 + HNO_3 = NaNO_3 + CO_2 + H_2O$$

$$Na_2CO_3 + 2HNO_3 = 2NaNO_3 + CO_2 + H_2O$$

$$CaO + 2HNO_3 = Ca(NO_3)_2 + H_2O$$

(3) নাইট্রিক অ্যাসিডের জারণ ধর্ম ঃ গাঢ় বা লঘু—উভয় নাইট্রিক অ্যাসিডই তীব্র জারক। এর কারণ হল গাঢ় বা লঘু উভয় নাইট্রিক অ্যাসিডই নীচের মতো বিয়োজিত হয়, জায়মান অক্সিজেন দেয় যা অপর পদার্থকে জারিত করে—

গাঢ় HNO_3	$2HNO_3 = H_2O + 2NO_2 + O\uparrow$
নাতি গাঢ় HNO_3	$2HNO_3 = H_2O + 2NO + 3O\uparrow$
ঠান্ডা লঘু HNO_3	$2HNO_3 = H_2O + N_2O + 4O\uparrow$

● **নাইট্রিক অ্যাসিডের শুধু জারণ ক্ষমতা আছে বিজারণ ক্ষমতা নেই কেন?**

নাইট্রিক অ্যাসিডে N পরমাণুর জারণ সংখ্যা +5। N পরমাণুর জারণ সংখ্যা +5-এর বেশি হয় না, তাই HNO_3-এর N পরমাণুর জারণ সংখ্যা বাড়ানোর কোনো সুযোগ নেই অর্থাৎ জারিত হওয়ার কোনো সুযোগ নেই। অপরকে বিজারিত করে নিজে জারিত হওয়া যায়। **তাই HNO_3-এর বিজারণ ক্ষমতা নেই।** কিন্তু HNO_3-এর N পরমাণুর জারণ সংখ্যা +5 থেকে কমে +4, +3, +2, +1 বা 0-তে নেমে যাওয়ার সুযোগ আছে। তাই HNO_3-এর N পরমাণু অপরকে জারিত করে নিজে বিজারিত হয়ে NO_2, NO, N_2O বা N_2 ইত্যাদিতে পরিণত হওয়ার প্রবণতা দেখা যায়। **তাই HNO_3 তীব্র জারক।**

(a) অধাতুর জারণ ঃ লঘু নাইট্রিক অ্যাসিডের সঙ্গে অধাতুর সঙ্গে বিক্রিয়া না হলেও, গাঢ় HNO_3 **কার্বন, সিলিকন, ফসফরাস, আয়োডিন, সালফার** প্রভৃতি অধাতুকে এবং **আর্সেনিক, অ্যান্টিমনি** প্রভৃতি ধাতুকল্পগুলিকে তাদের নিজ নিজ অক্সাইড বা অক্সি অ্যাসিডে জারিত করে। প্রতি ক্ষেত্রে HNO_3 নিজে NO_2-তে বিজারিত হয়।

(i) যেমন, **জ্বলন্ত কার্বনকে** (কাঠ কয়লা) নাইট্রিক অ্যাসিড জারিত করে **কার্বন ডাইঅক্সাইডে** পরিণত করে।

HNO_3 দ্বারা C-এর জারণ ঃ $4HNO_3 + C = CO_2 + 4NO_2 + 2H_2O$

(ii) HNO_3 সিলিকনকে জারিত করে সিলিকা উৎপন্ন করে।

$$4HNO_3 + Si = SiO_2 + 4NO_2 + 2H_2O$$

(iii) HNO_3 দ্বারা ফসফরাস জারিত হয়ে ফসফরিক অ্যাসিডে পরিণত হয় এবং HNO_3 নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইডে বিজারিত হয়।

$$4P + 20HNO_3 = 4H_3PO_4 + 20NO_2 + 4H_2O$$

(iv) HNO_3 দ্বারা আয়োডিন জারিত হয়ে আয়োডিক অ্যাসিড (HIO_3) উৎপন্ন করে এবং নিজে NO_2 তে বিজারিত হয়।

$$10HNO_3 + I_2 = 2HIO_3 + 10NO_2 + 4H_2O$$

(v) HNO_3 দ্বারা সালফার জারিত হয়ে সালফিউরিক অ্যাসিডে পরিণত হয়।

$$6HNO_3 + S = H_2SO_4 + 6NO_2 + 2H_2O$$

Cl_2, Br_2, N_2, O_2-প্রভৃতি অধাতুগুলির সাথে নাইট্রিক অ্যাসিড বিক্রিয়া করে না।

(vi) আর্সেনিক, আর্সেনিক অ্যাসিডে (H_3AsO_4) জারিত হয়।

$$As + 5HNO_3 = H_3AsO_4 + 5NO_2 + H_2O$$

(b) যৌগের জারণ (Oxidation of compounds) ঃ অনেক যৌগকে লঘু এবং গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিড জারিত করে। যেমন—

(i) HNO_3 দ্বারা **বর্ণহীন হাইড্রোব্রোমিক** অ্যাসিড জারিত হয়ে ব্রোমিন মুক্ত করে, ফলে দ্রবণের বর্ণ লাল হয়ে যায়।

$$2HNO_3 + 2HBr = 2H_2O + Br_2\uparrow + 2NO_2$$

(ii) বর্ণহীন **পটাশিয়াম ব্রোমাইড** এবং **পটাশিয়াম আয়োডাইড** HNO_3 দ্বারা জারিত হয়ে যথাক্রমে Br_2 এবং I_2 মুক্ত করে।

$$6KBr + 8HNO_3 = 6KNO_3 + 2NO + 4H_2O + 3Br_2\uparrow$$

অনুরূপে ঃ $6KI + 8HNO_3 = 6KNO_3 + 2NO + 4H_2O + 3I_2\uparrow$

(iii) (*a*) **গাঢ় HNO_3 সালফার ডাইঅক্সাইডকে জারিত করে সালফিউরিক অ্যাসিডে** পরিণত হয় এবং নিজে NO_2-তে বিজারিত হয়। $2HNO_3 + SO_2 = H_2SO_4 + 2NO_2$

(*b*) **লঘু HNO_3** দ্বারা SO_2 জারিত হয়ে H_2SO_4-এ পরিণত হয় এবং HNO_3, NO-তে বিজারিত হয়।

$$3SO_2 + 2HNO_3 + 2H_2O = 3H_2SO_4 + 2NO$$

(iv) লঘু HNO_3 **দ্বারা হাইড্রোজেন সালফাইড** জারিত হয়ে **সালফারের অধঃক্ষেপ** উৎপন্ন করে।

$$2HNO_3 + 3H_2S \rightleftharpoons 4H_2O + 2NO + 3S\downarrow$$

গাঢ় HNO_3 ও H_2S-কে সালফারে জারিত করে। $2HNO_3 + H_2S = 2NO_2 + S\downarrow + 2H_2O$

(v) আম্লিক ফেরাস সালফেট দ্রবণ জারিত হয়ে **হলুদ রং-এর ফেরিক সালফেটে** পরিণত হয়।

$$6FeSO_4 + 3H_2SO_4 + 2HNO_3 = 3Fe_2(SO_4)_3 + 2NO + 4H_2O$$

(vi) অনেক জৈব যৌগকে গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিড জারিত করে। **তার্পিন তেল, অ্যালকোহল** প্রভৃতি নাইট্রিক অ্যাসিডের সংস্পর্শে জ্বলে ওঠে এবং জারিত হয়। কতকগুলি **জৈব যৌগের সঙ্গে গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিড নাইট্রো-যৌগ উৎপন্ন করে। বেঞ্জিনের সঙ্গে** HNO_3-এর ক্রিয়ায় **নাইট্রোবেঞ্জিন** উৎপন্ন হয়।

$$C_6H_6 + HNO_3 = C_6H_5NO_2 + H_2O$$

(c) ধাতুর সঙ্গে বিক্রিয়া (Action with metals) ঃ নোবেল ধাতু গোল্ড এবং প্ল্যাটিনাম ছাড়া নাইট্রিক অ্যাসিড প্রায় সব ধাতুকেই আক্রমণ করে বিভিন্ন যৌগ উৎপন্ন করে। ধাতুর সক্রিয়তা অনুযায়ী নাইট্রিক অ্যাসিডের সাথে ধাতুর বিক্রিয়াকে তিনটি শ্রেণিতে ভাগ করা হয়েছে।

ধাতুর সঙ্গে নাইট্রিক অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় নাইট্রিক অ্যাসিড দু'রকম কাজ একই সঙ্গে করে। যেমন, **(i) অ্যাসিডের কাজ, (ii) জারকের কাজ।**

অ্যাসিড ধর্মের জন্য তড়িৎ রাসায়নিক শ্রেণিতে H_2-এর উপরে অবস্থিত ধাতুগুলির সঙ্গে বিক্রিয়ায় নাইট্রেট লবণ ও জায়মান হাইড্রোজেন উৎপন্ন হয়। নাইট্রিক অ্যাসিডের জারণ-ধর্মের জন্য এই হাইড্রোজেন জারিত হয়ে জলে পরিণত হয় ও নাইট্রিক অ্যাসিড

বিজারিত হয়ে গাঢ়ত্ব অনুসারে ও ধাতুর প্রকৃতি অনুযায়ী নাইট্রোজেনের বিভিন্ন অক্সাইডে পরিণত হয়। কাজেই ধাতুর উপর নাইট্রিক অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় কী কী উৎপন্ন হবে তা নির্ভর করে—**(i) ধাতুর তড়িৎ-রাসায়নিক প্রকৃতি, (ii) অ্যাসিডের গাঢ়ত্ব, (iii) বিক্রিয়ার উষ্ণতা** এবং **(iv) উৎপন্ন দ্রব্যের উপর।** যেমন—

(a) গোল্ড, প্ল্যাটিনাম—এইরকম কয়েকটি নোবেল মেটালের সঙ্গে নাইট্রিক অ্যাসিড বিক্রিয়া করে না।

(b) ঘন নাইট্রিক অ্যাসিড, আয়রন, ক্রোমিয়াম, নিকেল ধাতুর সঙ্গে বিক্রিয়া করে না।

(c) লঘু ও শীতল নাইট্রিক অ্যাসিডের সঙ্গে ম্যাগনেশিয়াম এবং ম্যাঙ্গানিজ ধাতু হাইড্রোজেন উৎপন্ন করে।

(d) লঘু ও শীতল নাইট্রিক অ্যাসিডের সঙ্গে অ্যালুমিনিয়ামের কোনো বিক্রিয়া হয় না বললেই চলে। গাঢ় HNO_3-এর সঙ্গে Al ধাতুর বিক্রিয়া হয় না।

অন্যান্য ধাতু নাইট্রিক অ্যাসিডের ঘনত্ব ও উষ্ণতা অনুযায়ী **নাইট্রেট লবণে পরিণত হয়** এবং নাইট্রিক অ্যাসিড বিজারিত হয়ে **নাইট্রিক অক্সাইড, নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইড, N_2** বা **অ্যামোনিয়াম লবণে** পরিণত হয়।

(I) যেসব ধাতু তড়িৎ-রাসায়নিক শ্রেণিতে হাইড্রোজেনের উপরে আছে, যেমন Zn, Mg, Fe, Cd, ইত্যাদি; নাইট্রিক অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়ায় হাইড্রোজেন প্রতিস্থাপিত করে, কিন্তু বেশির ভাগ ক্ষেত্রে উৎপন্ন জায়মান H, নাইট্রিক অ্যাসিডকে বিজারিত করে নাইট্রোজেনের কোনো অক্সাইড কিংবা অ্যামোনিয়াতে পরিণত করে। অ্যাসিড যত লঘু হয়, তত বেশি বিজারিত হয়।

নাইট্রিক অ্যাসিড উৎপন্ন জায়মান হাইড্রোজেন দ্বারা নিম্নলিখিতভাবে বিজারিত হতে পারে—

নাতি গাঢ় $2HNO_3 + 6H \rightarrow 2NO + 4H_2O$ অতি লঘু $2HNO_3 + 16H \rightarrow 2NH_3 + 6H_2O$

ঠান্ডা ও লঘু $2HNO_3 + 8H \rightarrow N_2O + 5H_2O$ বাষ্প $2HNO_3 + 10H \rightarrow N_2 + 6H_2O$

(i) জিঙ্কের সঙ্গে বিক্রিয়া (Action on zinc) **ঃ**

(a) উষ্ণ এবং গাঢ় অ্যাসিডে ঃ

$$Zn + 4HNO_3 = Zn(NO_3)_2 + 2NO_2 + 2H_2O$$

(b) ঠান্ডা নাতি গাঢ় (1 ঃ 1) অ্যাসিডে ঃ

$$3Zn + 8HNO_3 = 3Zn(NO_3)_2 + 2NO + 4H_2O$$

(c) ঠান্ডা লঘু অ্যাসিডে ঃ

$$4Zn + 10HNO_3 = 4Zn(NO_3)_2 + N_2O + 5H_2O$$

কিংবা নীচের বিক্রিয়াও হতে পারে—

$$4Zn + 10HNO_3 = 4Zn(NO_3)_2 + NH_4NO_3 + 3H_2O$$

(ii) আয়রনের সঙ্গে বিক্রিয়া (Action on iron) **ঃ (a) লঘু ও ঠান্ডা অ্যাসিডের সঙ্গে** ফেরাস নাইট্রেট ও অ্যামোনিয়াম নাইট্রেট উৎপন্ন হয়। $4Fe + 10HNO_3 = 4Fe(NO_3)_2 + NH_4NO_3 + 3H_2O$

(b) মধ্যম গাঢ় ও উষ্ণ অ্যাসিডে ফেরিক নাইট্রেট ও নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইড দেয়।

$$Fe + 6HNO_3 = Fe(NO_3)_3 + 3NO_2 + 3H_2O$$

(c) অত্যন্ত গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিডে আয়রন কোনো বিক্রিয়া না করে **নিষ্ক্রিয় আয়রনে** (Passive iron) পরিণত হয়। গাঢ় অ্যাসিডে ক্রোমিয়ামের বিক্রিয়া একই রকম।

[এর কারণ গাঢ় HNO_3-এর সংস্পর্শে আসার সঙ্গে সঙ্গে আয়রনের উপর আয়রন অক্সাইডের, খুব সম্ভব ফেরোসোফেরিক অক্সাইডের (Fe_3O_4) খুব পাতলা একটি আস্তরণ পড়ে যায়। এই অক্সাইডটি HNO_3-তে অদ্রাব্য বলে আয়রন আর অ্যাসিডের সংস্পর্শে আসতে পারে না, ফলে বিক্রিয়া বন্ধ হয়ে যায়। এইরকম লোহাকে নিষ্ক্রিয় লোহা বলে।]

(iii) ম্যাগনেশিয়ামের সঙ্গে বিক্রিয়া (Action on magnesium) **ঃ (a) ঠান্ডা ও লঘু নাইট্রিক অ্যাসিডের সঙ্গে** ম্যাগনেশিয়ামের বিক্রিয়ায় **ম্যাগনেশিয়াম নাইট্রেট ও হাইড্রোজেন** উৎপন্ন হয়।

$$Mg + 2HNO_3 = Mg(NO_3)_2 + H_2$$

(b) নাতি গাঢ় এবং শীতল অ্যাসিডে ম্যাগনেশিয়াম নাইট্রেট এবং নাইট্রিক অক্সাইড উৎপন্ন হয়।

$$3Mg + 8HNO_3 = 3Mg(NO_3)_2 + 2NO + 4H_2O$$

(iv) অ্যালুমিনিয়ামের সঙ্গে ঃ বিশুদ্ধ অ্যালুমিনিয়াম ঠান্ডা HNO_3-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে না। অশুদ্ধি যুক্ত Al, লঘু HNO_3-এর সঙ্গে খুব ধীরে ধীরে বিক্রিয়া করে অ্যালুমিনিয়াম নাইট্রেট এবং অ্যামোনিয়াম নাইট্রেটে পরিণত হয়।

গাঢ় HNO_3-এর সঙ্গে Al-এর বিক্রিয়া হয় না। কারণ HNO_3 Al-কে জারিত করে Al_2O_3 উৎপন্ন করে ফলে Al-এর উপরে Al_2O_3-এর আস্তরণ পড়ে। এর ফলে বিক্রিয়া বন্ধ হয়ে যায়।

এই কারণে গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিডকে অ্যালুমিনিয়াম পাত্রের মধ্যে রাখা হয়।

(II) তড়িৎ-রাসায়নিক শ্রেণিতে যে ধাতুগুলি হাইড্রোজেনের নীচে, যেমন Cu, Hg, Ag প্রভৃতি, সেইসব ধাতু নাইট্রিক অ্যাসিডের হাইড্রোজেন প্রতিস্থাপিত করে না—নিজেরাই জারিত হয়ে প্রথমে অক্সাইডে পরিণত হয় এবং নাইট্রোজেনের অক্সাইড উৎপন্ন করে। উৎপন্ন ধাতব অক্সাইড, অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়ায় নাইট্রেট লবণ উৎপন্ন করে।

(i) কপারের সঙ্গে বিক্রিয়া (Action on Copper) ঃ

(a) ঠান্ডা ও লঘু HNO_3-এর সঙ্গে—

$$4Cu + 10HNO_3 = 4Cu(NO_3)_2 + N_2O + 5H_2O$$

(b) নাতি গাঢ় (1 ঃ 1) HNO_3-এর সাথে ঃ

$$3Cu + 8HNO_3 = 3Cu(NO_3)_2 + 2NO + 4H_2O$$

(c) গাঢ় HNO_3-এর সাথে ঃ

$$Cu + 4HNO_3 = Cu(NO_3)_2 + 2NO_2 + 2H_2O$$

(d) লোহিত তপ্ত Cu-এর সঙ্গে HNO_3 বাষ্প ঃ

$$5Cu + 2HNO_3 = 5CuO + N_2 + H_2O$$

(5) মারকারির সঙ্গে বিক্রিয়া (Action on Hg) ঃ **(a) লঘু ও ঠান্ডা অ্যাসিডে মারকিউরাস নাইট্রেট ও নাইট্রিক অক্সাইড** উৎপন্ন হয়।

$$6Hg + 8HNO_3 = 3Hg_2(NO_3)_2 + 2NO + 4H_2O$$

(b) অ্যাসিডের পরিমাণ গাঢ় হলে মারকিউরিক নাইট্রেট উৎপন্ন হয়।

$$3Hg + 8HNO_3 = 3Hg(NO_3)_2 + 2NO + 4H_2O$$

(6) সিলভারের সঙ্গে বিক্রিয়া (Action on Silver) ঃ **লঘু নাইট্রিক অ্যাসিডের সঙ্গে সিলভারের বিক্রিয়ায় সিলভার নাইট্রেট ও নাইট্রিক অক্সাইড উৎপন্ন হয়।**

$$3Ag + 4HNO_3 = 3AgNO_3 + NO + 2H_2O$$

● **অম্লরাজ** (Aqua regia) ঃ **তিন আয়তন গাঢ় HCl-এর সঙ্গে এক আয়তন গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিড মেশালে নাইট্রোসিল ক্লোরাইড ও জায়মান ক্লোরিন উৎপন্ন হয়।** এই জায়মান ক্লোরিন দ্বারা গোল্ড, প্ল্যাটিনাম প্রভৃতি ধাতু দ্রবীভূত হয়। দুটি অ্যাসিডের এই মিশ্রণকে **অম্লরাজ** (Aqua Regia) বলে। সোনার সঙ্গে বিক্রিয়ায় **ক্লোরোঅরিক অ্যাসিড** এবং প্ল্যাটিনামের সঙ্গে বিক্রিয়ায় **ক্লোরোপ্ল্যাটিনিক অ্যাসিড** উৎপন্ন হয়।

$$3HCl + HNO_3 = 2Cl\ (\text{জায়মান}) + NOCl + 2H_2O$$

$$Au + 3Cl = AuCl_3\ ; \qquad Pt + 4Cl = PtCl_4$$

অতিরিক্ত HCl-এ, এইভাবে উৎপন্ন $AuCl_3$ এবং $PtCl_4$ দ্রবীভূত হয়ে যথাক্রমে জটিল লবণ **ক্লোরো অরিক অ্যাসিড** $H[AuCl_4]$ এবং **ক্লোরো প্ল্যাটিনিক অ্যাসিড** $H_2[PtCl_6]$ উৎপন্ন করে।

$$AuCl_3 + HCl = \underset{\text{অরোক্লোরিক অ্যাসিড}}{H[AuCl_4]}; \qquad PtCl_4 + 2HCl = \underset{\text{ক্লোরো প্ল্যাটিনিক অ্যাসিড}}{H_2[PtCl_6]}$$

●**নাইট্রিক অ্যাসিড এবং নাইট্রেট লবণের শনাক্তকরণ** (Tests for HNO_3 and Nitrates) ঃ নীচের পরীক্ষা দ্বারা নাইট্রিক অ্যাসিড বা নাইট্রেট মূলককে শনাক্ত করা যায়।

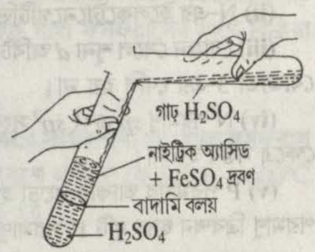
(i) পরীক্ষাধীন পদার্থের সঙ্গে কপার ছিবড়া ও গাঢ় H_2SO_4 মিশিয়ে উত্তপ্ত করলে বাদামি রঙের NO_2 গ্যাস বের হয়।

$$NaNO_3 + H_2SO_4 = NaHSO_4 + HNO_3; \qquad Cu + 4HNO_3 = Cu(NO_3)_2 + 2NO_2\uparrow + 2H_2O$$

(ii) বলয় পরীক্ষা (Ring test) ঃ একটি টেস্টটিউবে পরীক্ষাধীন পদার্থের জলীয় দ্রবণে সদ্য প্রস্তুত ফেরাস সালফেট দ্রবণ মিশিয়ে টেস্টটিউবটিকে একটু কাত করে টেস্টটিউবের গা দিয়ে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড ঢালা হয়। H_2SO_4 ভারী বলে দ্রবণের

নীচে চলে যায়। এই অবস্থায় টেস্টটিউবকে ঠান্ডা জলে রেখে ঠান্ডা করলে অ্যাসিড ও দ্রবণের সংযোগস্থলে একটি বাদামি বলয় গঠিত হয় [চিত্র 1.8]।

নাইট্রেট লবণের সংস্পর্শে গাঢ় H_2SO_4 এলে নাইট্রিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়। নাইট্রিক অ্যাসিড $FeSO_4$-এর সঙ্গে গাঢ় H_2SO_4-এর উপস্থিতিতে বিক্রিয়া করে NO উৎপন্ন করে। উৎপন্ন NO, $FeSO_4$-এর সঙ্গে যুক্ত হয়ে বাদামি বর্ণের $[Fe(H_2O)_5NO]SO_4$ উৎপন্ন করে, যার ফলে বাদামি বলয়ের সৃষ্টি হয়।

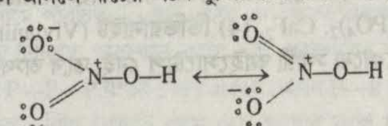


চিত্র 1.8 : বলয় পরীক্ষা

$$NaNO_3 + H_2SO_4 = NaHSO_4 + HNO_3$$
$$6FeSO_4 + 3H_2SO_4 + 2HNO_3 = 3Fe_2(SO_4)_3 + 2NO + 4H_2O$$
$$FeSO_4 + 6H_2O = [Fe(H_2O)_6]SO_4$$
$$[Fe(H_2O)_6]SO_4 + NO = \underset{\text{বাদামি বলয়}}{[Fe(H_2O)_5NO]SO_4} + H_2O$$

$[Fe(H_2O)_5]SO_4$ যৌগে আয়রনের জারণ সংখ্যা +1, কারণ এখানে NO লিগ্যান্ড NO^+ হিসাবে উপস্থিত। সুতরাং যদি প্রশ্ন করা হয় যে বাদামি বলয়টির সঠিক সংকেত এবং নাম কী? তাহলে উত্তরটি হল—বাদামি বলয়টির সংকেত হল $[Fe(H_2O)_5NO^+]SO_4$ এবং এর I.U.P.A.C. নাম হল পেন্টা অ্যাকোয়া নাইট্রোসোনিয়াম আয়রন (1) **সালফেট**।]

● **নাইট্রিক অ্যাসিডের আণবিক গঠন হল আসলে নীচের গঠন দুটির রেজোন্যান্স হাইব্রিড—**



● **প্রমাণ করো নাইট্রিক অ্যাসিডে হাইড্রোজেন, নাইট্রোজেন এবং অক্সিজেন আছে।**

(i) একটি গোলতল পাতন ফ্লাস্কের মধ্যে রাখা তীব্রভাবে উত্তপ্ত ঝামা পাথরের উপর বিন্দুপাতী ফানেল থেকে ফোঁটা ফোঁটা করে গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিড ফেলা হল। এর ফলে নাইট্রিক অ্যাসিড বিয়োজিত হয়ে যে গ্যাসগুলি উৎপন্ন করে সেগুলিকে প্রথমে বরফে (0°C) রাখা U-টিউবের মধ্যে, পরে হিমমিশ্রে রাখা U-টিউবের মধ্য দিয়ে চালনা করা হল। শেষ U-টিউবের নির্গম-নল থেকে একটি বর্ণহীন গ্যাস নির্গত হতে দেখা যায়। পরীক্ষা করে দেখা গেল এই গ্যাসের মধ্যে শিখাহীন জ্বলন্ত পাটকাঠি ধরলে তীব্রভাবে জ্বলে ওঠে আর গ্যাসটি ক্ষারীয় পটাশিয়াম পাইরোগ্যালেট দ্রবণে শোষিত হয়। অতএব প্রমাণিত হল গ্যাসটি অক্সিজেন—এই O_2 নাইট্রিক অ্যাসিড থেকে আসে।

$$4HNO_3 = 2H_2O + 4NO_2 + O_2\uparrow$$

(ii) বরফে ঢাকা U-টিউবের মধ্যে দেখা গেল বর্ণহীন তরল জমা হয়েছে। এই বর্ণহীন তরল, অনার্দ্র সাদা $CuSO_4$-কে নীল করে, অতএব প্রমাণিত হল তরলটি জল—জলে H_2 আছে। এই H_2 নাইট্রিক অ্যাসিড থেকে আসে।

(iii) একটি দহন-নলে Cu ছিবড়া উত্তপ্ত করে এর উপর দিয়ে নাইট্রিক অ্যাসিড বাষ্প চালনা করা হল। বিক্রিয়ার ফলে উৎপন্ন গ্যাসকে সংগ্রহ করে দেখা গেল গ্যাসটি জ্বলে না বা জ্বলতে সাহায্য করে না। এই গ্যাস জ্বলন্ত Mg-এর সঙ্গে যুক্ত হয়ে যে যৌগ উৎপন্ন করে সেই যৌগকে ফুটন্ত জলের সঙ্গে বিক্রিয়া করালে NH_3 উৎপন্ন করে। অতএব প্রমাণিত হল অবশেষটি ম্যাগনেশিয়াম নাইট্রাইড। Mg_3N_2-এর N_2 এসেছে নাইট্রিক অ্যাসিড থেকে।

$$5Cu + 2HNO_3 = 5CuO + N_2 + H_2O \qquad 3Mg + N_2 = Mg_3N_2$$
$$Mg_3N_2 + 6H_2O = 3Mg(OH)_2 + 2NH_3\uparrow$$

• ফসফরাস •

চিহ্ন—P	পারমাণবিক সংখ্যা—15	পারমাণবিক গুরুত্ব—30·97
ইলেকট্রন বিন্যাস—$1s^22s^22p^63s^23p^3$		জারণ-সংখ্যা : (−3), (−2), (+3), (+5),

1.17. ফসফরাসের অবস্থান [Occurrence of Phosphorus]

ফসফরাস হল নাইট্রোজেন পরিবারের দ্বিতীয় সভ্য—পর্যায় সারণির তৃতীয় পর্যায়ের গ্রুপ 15-এ অবস্থান করে। ফসফরাসের পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাস হল $1s^22s^22p^63s^23p^3$। একই গ্রুপে অবস্থান করলেও রাসায়নিক ধর্মে নাইট্রোজেন ও ফসফরাসের মধ্যে অনেক বিষয়ে পার্থক্য দেখা যায়। মৌল দুটির মধ্যে এই পার্থক্যের কারণ—

(i) N পরমাণুর আকার (7 pm) ফসফরাস পরমাণু আকারের (100 pm) চেয়ে অনেক ছোটো।

(ii) N-এর ইলেকট্রোনেগেটিভিটি (3·0) P-এর ইলেকট্রোনেগেটিভিটির (2·1) চেয়ে অনেক বেশি।

(iii) যোজন সেলে শূন্য d অর্বিট্যাল থাকার জন্য P-এর যোজ্যতা 5 হয়, কিন্তু N পরমাণুর যোজন সেলে d অর্বিট্যাল না থাকায় যোজ্যতা 3-এর বেশি হয় না।

(iv) N পরমাণু sp এবং sp^2 সংকরায়ণ দ্বারা বহু যৌগ উৎপন্ন করতে পারে, কিন্তু এই রকম সংকরায়িত হাইব্রিড P পরমাণুর ক্ষেত্রে সম্ভব হয় না।

(v) P পরমাণুর আকার বড়ো হওয়ার জন্য N পরমাণুর মতো একটি সিগমা বন্ধন এবং দুটি $p\pi—p\pi$ বন্ধন দ্বারা ফসফরাস পরমাণু ত্রিবন্ধন দ্বারা দুটি P পরমাণু পরস্পর যুক্ত হয়ে P_2 অণু সৃষ্টি করতে পারে না।

1.18. ফসফরাসের উৎস [Natural sources of phosphorus]

ফসফরাস অত্যন্ত সক্রিয় মৌল বলে বাতাসের সংস্পর্শে এলে সঙ্গে সঙ্গে আগুন ধরে যায়, তাই মৌল অবস্থায় একে প্রকৃতির মধ্যে পাওয়া যায় না। জীবজন্তুর হাড়, স্নায়ু, মাংসপেশি ও মস্তিষ্কে যৌগরূপে ফসফরাস বর্তমান থাকে। প্রকৃতিতে ফসফরাসকে যৌগরূপে পাওয়া যায়। প্রাণীর হাড়ে প্রায় 58% ক্যালশিয়াম ফসফেট থাকে। প্রকৃতিতে ফসফরাসকে নিম্নলিখিত যৌগরূপে পাওয়া যায়—

(1) ফসফোরাইট (Phosphorite) $Ca_3(PO_4)_2$, **(2) ক্লোর অ্যাপেটাইট** (Chlor apatite) $3Ca_3(PO_4)_2, CaCl_2$, **(3) ফ্লোর অ্যাপেটাইট** (Flour apatite) $3Ca_3(PO_4)_2, CaF_2$, **(4) ভিভিয়ানাইট** (Vivianite) $Fe_3(PO_4)_2, 8H_2O$

● **আইসোটোপ—ফসফরাসের কোনো স্থায়ী আইসোটোপ নেই,** তবে অস্থায়ী রেডিও আইসোটোপ $\mathbf{P^{32}}$ ব্লাড ক্যানসার রোগের চিকিৎসায় ব্যবহার করা হয়।

1.19. ফসফরাস প্রস্তুতি [Preparation of Phosphorus]

(1) আধুনিক বৈদ্যুতিক চুল্লি পদ্ধতি ঃ বর্তমানে এই পদ্ধতিতেই ফসফরাস প্রস্তুত করা হয়। এই পদ্ধতিটি **পার্কার-রবিনসন-রীডম্যান পদ্ধতি** নামেও পরিচিত।

[A] কাঁচামাল ঃ এই পদ্ধতিতে **ফসফরাইট আকরিক** বা **অস্থিভস্ম, সিলিকা** এবং **কোক** ব্যবহার করা হয়।

[B] রাসায়নিক বিক্রিয়া ঃ বৈদ্যুতিক চুল্লির মধ্যে ফসফরাইট আকরিক চূর্ণ, বালি এবং কোকের মিশ্রণকে 1500ºC তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করা হয়। বিক্রিয়াটি দুটি ধাপে ঘটে—

(i) প্রথমে 1200ºC তাপমাত্রায় ক্যালশিয়াম ফসফেটের সঙ্গে সিলিকার বিক্রিয়ায় **ক্যালশিয়াম সিলিকেট** এবং **ফসফরাস পেন্টক্সাইড** উৎপন্ন হয়। $Ca_3(PO_4)_2 + 3SiO_2 = 3CaSiO_3 + P_2O_5\uparrow$

(ii) 1500ºC তাপমাত্রায় উৎপন্ন ফসফরাস পেন্টক্সাইড কোক দ্বারা বিজারিত হয়ে শ্বেত ফসফরাস উৎপন্ন করে এবং কোক বিজারিত হয়ে কার্বন মনোক্সাইডে পরিণত হয়। $2P_2O_5 + 10C = P_4\uparrow + 10CO\uparrow$

উচ্চতাপে উৎপন্ন ফসফরাস, বাষ্পরূপে কার্বন মনোক্সাইডের সঙ্গে নির্গম-নল দিয়ে বেরিয়ে একটি জলপূর্ণ পাত্রে প্রবেশ করে। এখানে ফসফরাস বাষ্প শীতল ও ঘনীভূত হয়ে কঠিন রূপে জলের নীচে জমা হয়, CO বেরিয়ে যায়। গলিত ধাতুমলকে চুল্লির নীচের নির্গম-নল দিয়ে বের করা হয়।

(iii) বিশুদ্ধিকরণ ঃ এভাবে প্রাপ্ত ফসফরাসের সঙ্গে বালি, কোকের গুঁড়ো এবং অন্যান্য অশুদ্ধি থেকে যায়। প্রথমে এই P-কে গরম জলের মধ্যে রেখে গলিয়ে একে কোক চূর্ণ ও বালি থেকে মুক্ত করার পর একে ক্রোমিক অ্যাসিডের মধ্যে আলোড়িত করলে অন্যান্য অশুদ্ধিগুলি জারিত হলে কিছু দ্রবণে দ্রবীভূত হয় এবং বাকিটা ফেনার আকারে ভেসে ওঠে—একে পৃথক করে প্রাপ্ত P-কে গরম জলের মধ্যে রেখে স্যাময় চামড়ার মধ্য দিয়ে ছেঁকে কাচনলে দণ্ডের আকারে ঢালাই করে জলের মধ্যে রাখা হয়। কারণ সাদা P সাধারণ উষ্ণতায় বায়ুর সংস্পর্শে এলেই জ্বলে ওঠে এবং বায়ুর O_2 দ্বারা P_2O_5-এ জারিত হয়। তাই বায়ুর সংস্পর্শ থেকে দূরে রাখার জন্য P-কে জলের নীচেই রাখা হয়।

ফসফরাসের প্রধান দুটি রূপভেদ হল—সাদা ফসফরাস এবং লাল P।

সাদা থেকে লাল ফসফরাস প্রস্তুতি—N_2 গ্যাসের আবহাওয়ায় একটি লোহার পাত্রে রেখে সামান্য I_2-এর উপস্থিতিতে 240—250ºC উষ্ণতায় 1 atm চাপে রেখে উত্তপ্ত করলে সাদা P লাল P-তে পরিণত হয়।

$$\text{সাদা P} \xrightarrow[\text{1 atm}]{250^\circ C} \text{লাল P}$$

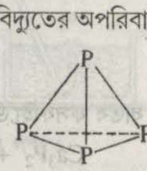
উৎপন্ন লাল ফসফরাসের সঙ্গে কিছু পরিমাণ অবিকৃত সাদা ফসফরাস থেকে যায়। সেজন্য উৎপন্ন লাল ফসফরাসকে গাঢ় NaOH দ্রবণের সঙ্গে ফোটালে ফসফরাসের সাথে NaOH-এর কোনো বিক্রিয়া হয় না, কিন্তু সাদা ফসফরাসের সাথে বিক্রিয়া করে **ফসফিন ও সোডিয়াম হাইপোফসফাইটে** পরিণত হয়।

$$3NaOH + 4P + 3H_2O = PH_3 + 3NaH_2PO_2$$

জল দিয়ে ধুয়ে সোডিয়াম হাইপোফসফাইট মুক্ত লাল ফসফরাসকে পাওয়া যায়। একে শুষ্ক করে সংগ্রহ করা হয়। **লাল ফসফরাস বাতাসে জারিত হয় না, সেজন্য জলের মধ্যে রাখার দরকার হয় না।** নিষ্ক্রিয় গ্যাসের পরিবেশে লাল P কে 550ºC—600ºC উষ্ণতায় উত্তপ্ত করে, উৎপন্ন বাষ্পকে দ্রুত শীতল করলে লাল P আবার সাদা P তে পরিণত হয়।

1.20. ফসফরাসের ধর্ম [Properties of Phosphorus]

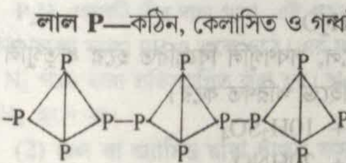
(A) ভৌত ধর্ম ঃ সাদা বা হলুদ P—(i) সাদা ফসফরাস সাদা বা হালকা হলুদ রঙের কঠিন পদার্থ। **মোমের মতো নরম নিয়তাকার; (ii) গলনাঙ্ক** 44ºC, **স্ফুটনাঙ্ক** 288ºC; **(iii) আপেক্ষিক গুরুত্ব** 1·84; **(iv)** ফসফরাস তাপ ও বিদ্যুতের অপরিবাহী; **(v)** সাদা ফসফরাস জলে অদ্রাব্য, কিন্তু **কার্বন ডাই-সালফাইড, বেঞ্জিন, ইথার, কার্বন টেট্রা ক্লোরাইডে দ্রাব্য; (vi)** সাদা ফসফরাসের **গন্ধ রসুনের মতো; (vii)** অন্ধকারে শীতল সবুজ আলো বিকীর্ণ করে। **ফসফরাস বিষাক্ত পদার্থ।** দীর্ঘদিন ধরে অল্প পরিমাণ ফসফরাস বাষ্প প্রশ্বাসের সঙ্গে গেলে চোয়াল এবং গালের হাড়ের ক্ষয় হয়। এই ঘটনা **ফসি-জ** নামে পরিচিত; **(viii)** কঠিন এবং বাষ্প অবস্থায় সাদা P-এর 4টি পরমাণু একটি বিকৃত চতুস্তলকে 4টি শীর্ষবিন্দুতে অবস্থান করে এবং পরস্পরের সঙ্গে সমযোজী একবন্ধন দ্বারা যুক্ত থেকে P_4 অণু উৎপন্ন করে P—P—P বন্ধন কোণ = 60º। এখন P—P অর্বিট্যালের অভিলেপনের ফলে সৃষ্ট এই বন্ধন কোণের মান 90º হওয়া উচিত ছিল—কিন্তু কোণটি কমে 60º হওয়ার ফলে ফসফরাস পরমাণুগুলি একটা পীড়িত অবস্থায় থাকে বলে সাদা P খুব সক্রিয় হয়। 1000ºC-এর বেশি উষ্ণতায় P_4অণু এক পরমাণুক হয়ে যায়।



সাদা P-এর অণু

$$P_4 \longrightarrow 2P_2 \xrightarrow{1000^{\circ}C} 4P$$

লাল P—কঠিন, কেলাসিত ও গন্ধহীন। এই রূপভেদটি বিষাক্ত নয়। জল এবং কার্বন ডাই সালফাইডে অদ্রাব্য। P-এর এই রূপটি বেশি স্থায়ী এবং কম সক্রিয়। লাল P-এর কেলাসের মধ্যে বহু সংখ্যক P_4 চতুস্তলক অণুগুলি পরস্পরের সঙ্গে P—P সমযোজী বন্ধন দ্বারা আবদ্ধ থেকে দীর্ঘ শৃঙ্খলের আকার নেয়। এই বন্ধনগুলিকে ছিন্ন করতে যথেষ্ট শক্তির প্রয়োজন হয়, তাই লাল P সাদা P-এর চেয়ে বেশি স্থায়ী, শক্ত, ভারী এবং উচ্চ গলনাঙ্ক বিশিষ্ট হয়। এইরূপ গঠনের জন্য সাদা P-এর তুলনায় লাল P অনেক কম সক্রিয়।



লাল P-এর অণু

কালো P—এইরূপের ধাতব দ্যুতি আছে। P-এর এই রূপভেদটি সবচেয়ে বেশি নিষ্ক্রিয়।

(B) রাসায়নিক ধর্ম—সাদা ও লাল P ঃ

(1) সাধারণ উষ্ণতায় (35ºC) বায়ুর বা অক্সিজেনের সংস্পর্শে সাদা ফসফরাস এলে আগুন ধরে যায় এবং জারিত হয়ে ফসফরাস ট্রাই অক্সাইড এবং ফসফরাস পেন্টক্সাইডের সাদা ধোঁয়া উৎপন্ন করে।

$$P_4 + 3O_2 = 2P_2O_3; \qquad P_4 + 5O_2 = 2P_2O_5$$

(2) ফসফরাসের অনুপ্রভা (Phosphorescence) ঃ আর্দ্র বায়ুর মধ্যে সাদা ফসফরাস ওর জ্বলনাঙ্কের নীচে থাকা অবস্থায় জারিত হয়ে ফসফরাস ট্রাই অক্সাইড এবং সামান্য ওজোনে পরিণত হয়। সাধারণ উষ্ণতায় বায়ুতে ফসফরাসের জারণের সময় যে সবুজ বর্ণের শিখার সৃষ্টি হয় তাতে হাত দিলেও তাপ অনুভূত হয় না। ফসফরাসের এই ধর্মকে ফসফরাসের **অনুপ্রভা** বলে। দেখা গেছে কম চাপে ফসফরাসের অনুপ্রভা বাড়ে। অনুপ্রভা সৃষ্টির জন্য সামান্য জলীয় বাষ্প এবং ওজোনের উপস্থিতির প্রয়োজন হয়। লাল P-এর এই ধর্ম দেখা যায় না।

(3) হ্যালোজেনের সঙ্গে বিক্রিয়া ঃ হ্যালোজেনের (Cl_2, Br_2, I_2) **সংস্পর্শে এলে সাদা ফসফরাস জ্বলে ওঠে এবং তাপ ও আলোক উৎপন্ন করে হ্যালাইড যৌগ উৎপন্ন করে।** বিক্রিয়াগুলি তাপ উৎপাদক।

$$P_4 + 6Cl_2 = 4PCl_3, \qquad P_4 + 10Cl_2 = 4PCl_5$$

$$P_4 + 6I_2 = 4PI_3, \qquad P_4 + 10Br_2 = 4PBr_5$$

(4) সালফারের সঙ্গো বিক্রিয়া ঃ জ্বলন্ত সালফারের সঙ্গো সাদা ফসফরাসের বিক্রিয়ায় **ফসফরাস পেন্টা সালফাইড** উৎপন্ন হয়।

$$P_4 + 10S = 2P_2S_5$$

(5) গাঢ় এবং তীব্র ক্ষার দ্রবণের সঙ্গো বিক্রিয়া ঃ উষ্ণ এবং গাঢ় NaOH বা KOH-এর **সঙ্গো সাদা P-এর বিক্রিয়ায় ফসফিন এবং হাইপোফসফাইট** লবণ উৎপন্ন হয়। ফসফিনের সঙ্গো সামান্য H_2 এবং ফসফরাস ডাই-হাইড্রাইডও উৎপন্ন হয়। লাল P এর সঙ্গো NaOH বা KOH-এর বিক্রিয়া হয় না।

$$P_4 + 3NaOH + 3H_2O = PH_3 + 3NaH_2PO_2$$

লাল ফসফরাসের সঙ্গো সামান্য সাদা ফসফরাস উপস্থিত থাকলে, এই বিক্রিয়ার সাহায্যে লাল ফসফরাসকে সাদা ফসফরাস থেকে পৃথক করা হয়।

(6) ধাতুর সঙ্গো বিক্রিয়া ঃ কপার, সোডিয়াম, ম্যাগনেশিয়াম, অ্যালুমিনিয়াম, সিলভার প্রভৃতির সঙ্গো বিক্রিয়া করে **ধাতব ফসফাইড** উৎপন্ন করে।

$$6Cu + P_4 = 2Cu_3P_2, \quad 12Na + P_4 = 4Na_3P$$
$$6Mg + P_4 = 2Mg_3P_2, \quad 12Ag + P_4 = 4Ag_3P$$
$$4Al + P_4 = 4AlP$$

ধাতব ফসফাইডের সঙ্গো ফুটন্ত জল বা লঘু অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় ফসফিন উৎপন্ন হয়।

$$Ca_3P_2 + 6H_2O = 3Ca(OH)_2 + 2PH_3; \quad 2AlP + 3H_2SO_4 = Al_2(SO_4)_3 + 2PH_3$$

(7) বিজারণ ক্ষমতা ঃ সাদা ফসফরাস একটি বিজারক।

(a) নাইট্রিক অ্যাসিডকে বিজারিত করে **বর্ণহীন নাইট্রিক অক্সাইড** (NO) এবং বাদামি বর্ণের নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইড (NO_2) গ্যাস উৎপন্ন করে এবং নিজে জারিত হয়ে **ফসফরিক অ্যাসিডে** পরিণত হয়।

$$\overset{0}{P_4} + 10H\overset{+5}{N}O_3 + H_2O = 4H_3\overset{+5}{P}O_4 + 5\overset{+2}{N}O + 5\overset{+4}{N}O_2$$

(b) গাঢ় H_2SO_4-কে সাদা ফসফরাস বিজারিত করে SO_2-তে পরিণত করে।

$$10H_2\overset{+6}{S}O_4 + P_4 = 4H_3PO_4 + 10\overset{+4}{S}O_2 + 4H_2O$$

(c) কপার, সিলভার, গোল্ড প্রভৃতি ধাতুগুলির লবণে সাদা ফসফরাস যোগ করলে, লবণগুলি বিজারিত হয়ে ধাতুগুলি অধঃক্ষিপ্ত হয়। তারপর বেশির ভাগ ক্ষেত্রে সাদা ফসফরাস, উৎপন্ন ধাতুগুলিকে ফসফাইডে পরিণত করে।

$$P_4 + 10CuSO_4 + 16H_2O = 10Cu\downarrow + 4H_3PO_4 + 10H_2SO_4$$
$$P_4 + 20AgNO_3 + 16H_2O = 20Ag\downarrow + 4H_3PO_4 + 20HNO_3$$

[সাদা ফসফরাসকে $KClO_3$ বা KNO_3-এর সঙ্গো ঘর্ষণ করলে দ্রুত জারিত হয় বলে বিস্ফোরণ ঘটে।]

লাল P সবচেয়ে নিষ্ক্রিয় রূপভেদ। বায়ুতে সহজে জারিত হয় না; 200°C-এর উপরে O_2-এর সঙ্গো যুক্ত হয়ে P_2O_5 উৎপন্ন করে। হ্যালোজেনের সঙ্গো ধীর গতিতে বিক্রিয়া করে PCl_3 ও PCl_5-এ পরিণত হয়। উষ্ণ ও গাঢ় NaOH বা KOH-এর সঙ্গো বিক্রিয়া করে না। লাল P-এর বিজারণ ধর্ম নেই।

● **সাদা ফসফরাস নিয়ে কাজ করার সময় সাদা ফসফরাস হাতে লেগে গেলে, হাত $CuSO_4$ দ্রবণ দিয়ে ধুয়ে ফেলা উচিত—এর কারণ হল,** সাদা ফসফরাস অত্যন্ত বিষাক্ত এবং ক্ষয়কারক পদার্থ। সাদা P হাতে লেগে গেলে যন্ত্রণাদায়ক ক্ষতের সৃষ্টি করে। সুতরাং সাদা ফসফরাস নিয়ে কাজ করার সময় ফসফরাসকে কখনো হাত দিয়ে স্পর্শ করা উচিত নয়—যদি অসাবধানবশত লেগে যায়, সঙ্গো সঙ্গো $CuSO_4$ দ্রবণ দিয়ে হাত ধুয়ে ফেলতে হয়, কারণ $CuSO_4$ দ্রবণের সংস্পর্শে সাদা P এলে জারিত হয়ে ফসফরিক অ্যাসিডে পরিণত হয় যা ক্ষতিকারক নয়। $CuSO_4$ এভাবে সাদা P ক্ষতিকারক ক্ষমতা নষ্ট করে।

$$P_4 + 10CuSO_4 + 16H_2O = 10Cu + 4H_3PO_4 + 10H_2SO_4$$

● ফসফিন ●

1.21. ফসফিন গ্যাস প্রস্তুতি [Preparation of Phosphine]

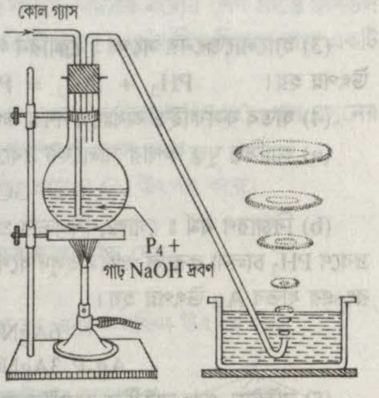
● **পরীক্ষাগার পদ্ধতি** (Laboratory method) ঃ

নীতি ঃ নাইট্রোজেন বা কার্বন ডাইঅক্সাইড গ্যাসের আবহাওয়ায় সাদা ফসফরাসের সঙ্গো তীব্র ক্ষার NaOH বা KOH-এ গাঢ় দ্রবণ যোগ করে ফুটালে হাইপোফসফাইট লবণ ও ফসফিন গ্যাস উৎপন্ন হয়।

পরীক্ষাগারে গাঢ় সোডিয়াম হাইড্রক্সাইড দ্রবণের সঙ্গে সাদা ফসফরাস মিশিয়ে উত্তপ্ত করে ফসফিন উৎপন্ন করা হয়। এই সঙ্গে সামান্য পরিমাণ ফসফরাস ডাই-হাইড্রাইড এবং H_2Oও উৎপন্ন হয়।

$$4P + 3NaOH + 3H_2O = PH_3 + 3NaH_2PO_2$$

বিক্রিয়ার ফলে উৎপন্ন ফসফিন নির্গম-নল দিয়ে বেরিয়ে আসে। জল থেকে ফসফিন গ্যাস ছোটো ছোটো বুদ্ বুদ আকারে বের হয় এবং বুদ্‌বুদ্ ফেটে PH_4 গ্যাস বাতাসের সংস্পর্শে এলেই জ্বলে উঠে সাদা ধোঁয়ার সৃষ্টি করে। ধোঁয়াটি বৃত্তাকারে বের হয় ও উপরে ওঠার সঙ্গে সঙ্গে আয়তনে বড়ো হতে থাকে।



চিত্র 1.9 ঃ ফসফিন পদ্ধতি

[এই সাদা ধোঁয়াটি ফসফরাস পেন্টোক্সাইডের সূক্ষ্ম কণা ছাড়া কিছু নয়। ফসফিন বায়ুর O_2 দ্বারা জারিত হয়ে P_2O_5-এর সূক্ষ্ম কণার সৃষ্টি করে যা সাদা ধোঁয়ার রূপ নেয়।

$$2PH_3 + 4O_2 = P_2O_5 + 3H_2O]$$

(1) পরীক্ষাগারে প্রস্তুত ফসফিনকে (PH_3, P_2H_4 এবং H_2) HCl **মিশ্রিত কিউপ্রাস ক্লোরাইডের মধ্য দিয়ে** চালনা করলে PH_3 দ্রবীভূত হয়ে Cu_2Cl_2, PH_3 যুত যৌগ উৎপন্ন করে। P_2H_4 এবং H_2 কিউপ্রাস ক্লোরাইডের সঙ্গে কোনো বিক্রিয়া না করে বেরিয়ে যায়। প্রাপ্ত দ্রবণটিকে উত্তপ্ত করলে **বিশুদ্ধ PH_3 পাওয়া যায়।**

$$Cu_2Cl_2 + PH_3 = Cu_2Cl_2, PH_3; \qquad Cu_2Cl_2, PH_3 \xrightarrow[\text{তাপ}]{} Cu_2Cl_2 + PH_3\uparrow$$

● **পরীক্ষাগারে ফসফিন প্রস্তুতির সময় ফ্লাস্কের মধ্যস্থ বাতাসকে কোল গ্যাস বা অন্য কোনো নিষ্ক্রিয় গ্যাস দ্বারা প্রতিস্থাপিত করা হয় কারণ,** ফসফিন গ্যাস দাহ্য কিন্তু বাতাসের সংস্পর্শে এলেও নিজে থেকে জ্বলে না। গাঢ় এবং উষ্ণ NaOH-এর সঙ্গে সাদা ফসফরাসের বিক্রিয়ায় উৎপন্ন PH_3-এর সঙ্গে সামান্য ফসফরাস ডাই-হাইড্রাইড (P_2H_4) উৎপন্ন হয়।

$$6P + 4NaOH + 4H_2O = P_2H_4 + 4NaH_2PO_2$$

P_2H_4 গ্যাসটি তীব্র দাহ্য গ্যাস, এই গ্যাস বাতাসের O_2-এর সংস্পর্শে এলেই জ্বলে ওঠে। PH_3 একটি দাহ্য গ্যাস, তাই P_2H_4 জ্বলে ওঠার সঙ্গে সঙ্গে PH_3ও জ্বলে ওঠে। এর ফলে বিস্ফোরণ ঘটতে পারে। তাই PH_3 প্রস্তুতির সময় ফ্লাস্কের মধ্যস্থ বাতাসকে কোল গ্যাস বা N_2 গ্যাস দ্বারা প্রতিস্থাপিত করা হয়। N_2 বা কোল গ্যাসের সঙ্গে P_2H_4-এর কোনো বিক্রিয়া হয় না ফলে ফ্লাস্কের ভেতরে উৎপন্ন P_2H_4 জ্বলে না।

(2) জল বা অ্যাসিড দ্বারা ধাতব ফসফাইডের আর্দ্র-বিশ্লেষণ করলে বিশুদ্ধ ফসফিন উৎপন্ন হয়। যেমন ক্যালশিয়াম বা অ্যালুমিনিয়াম ফসফাইডের সঙ্গে ফুটন্ত জলের বিক্রিয়ায় বা অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় ফসফিন উৎপন্ন হয়।

$$Ca_3P_2 + 6H_2O = 3Ca(OH)_2 + 2PH_3, \qquad AlP + 3HCl = AlCl_3 + PH_3$$

(3) ফসফোনিয়াম লবণ থেকে—ফসফোনিয়াম আয়োডাইডকে 30% KOH দ্রবণে উত্তপ্ত করলে বিশুদ্ধ PH_3 পাওয়া যায়।

$$PH_4I + KOH = KI + PH_3 + H_2O$$

(4) ফসফরাস অ্যাসিড থেকে ঃ ফসফরাস অ্যাসিডকে উত্তপ্ত করলে ফসফিন উৎপন্ন হয়।

$$4H_3PO_3 \rightleftharpoons 3H_3PO_4 + PH_3\uparrow$$

1.22. ফসফিনের ধর্ম [Properties of PH_3]

(A) ভৌত ধর্ম ঃ (i) বর্ণহীন, পচামাছের মতো গন্ধবিশিষ্ট গ্যাস। (ii) বাতাসের চেয়ে ভারী, জলে দ্রাব্যতা খুব কম। **(iii)** খুব বিষাক্ত গ্যাস, **(iv)** −87°C উষ্ণতার ফসফিন তরল হয়ে যায়।

(B) রাসায়নিক ধর্ম ঃ (1) ক্ষারীয় ধর্ম ঃ ফসফিনের খুব সামান্য ক্ষার ধর্ম আছে, তবে লিটমাসের রং পরিবর্তন করতে পারে না। **অ্যামোনিয়ার মতো বিভিন্ন অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়া করে ফসফোনিয়াম লবণ উৎপন্ন করে।** যেমন, উচ্চচাপে এবং −35°C উষ্ণতায় HCl-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় **ফসফোনিয়াম ক্লোরাইড** উৎপন্ন হয়।

$$PH_3 + HCl = PH_4Cl; \qquad PH_3 + HBr = PH_4Br$$

ফসফোনিয়াম লবণের সঙ্গে তীব্র ক্ষার যেমন NaOH বা KOH-এর বিক্রিয়ায় ফসফিন উৎপন্ন হয়।

$$PH_4I + NaOH = NaI + PH_3 + H_2O$$

(2) অক্সিজেনের সঙ্গে ঃ সাধারণ উষ্ণতায় বাতাসে ফসফিন জ্বলে না, কিন্তু বাতাসের মধ্যে বা অক্সিজেনে 150°C উষ্ণতায় সামান্য বিস্ফোরণসহ জ্বলে ওঠে এবং ফসফরাস পেন্টোক্সাইডের সাদা ধোঁয়া উৎপন্ন করে।

$$2PH_3 + 4O_2 = P_2O_5 + 3H_2O$$

(3) হ্যালোজেনের সঙ্গে ঃ ক্লোরিন গ্যাসের মধ্যে ফসফিন জ্বলে ওঠে এবং ফসফরাস ট্রাইক্লোরাইড এবং পেন্টাক্লোরাইড উৎপন্ন হয়। $PH_3 + 3Cl_2 = PCl_3 + 3HCl$; $PH_3 + 4Cl_2 = PCl_5 + 3HCl$

(4) ধাতব ফসফাইড অধঃক্ষেপণ ঃ কপার বা মারকারি লবণের দ্রবণে PH_3 চালনা করলে ধাতব ফসফাইড অধঃক্ষিপ্ত হয়।

(a) অ্যাসিড যুক্ত কপার সালফেট দ্রবণে PH_3 চালনা করলে কপার ফসফাইডের কালো অধঃক্ষেপ পড়ে।

$$3CuSO_4 + 2PH_3 = Cu_3P_2 + 3H_2SO_4$$

(b) বিজারণ ধর্ম ঃ গোল্ড, সিলভার প্রভৃতি ধাতুর লবণের দ্রবণ থেকে ধাতুগুলিকে মুক্ত করে। যেমন, সিলভার নাইট্রেটের দ্রবণে PH_3 চালনা করলে, প্রথম হলুদ বর্ণের $Ag_3P, 3AgNO_3$ যুতযৌগ উৎপন্ন হয়। পরে যৌগটি আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়ে কালো রং-এর ধাতব Ag উৎপন্ন হয়।

$$6AgNO_3 + PH_3 = Ag_3P, 3AgNO_3 + 3HNO_3$$
$$Ag_3P, 3AgNO_3 + 3H_2O = 6Ag + 3HNO_3 + H_3PO_3$$

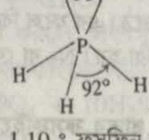
(5) নাইট্রাস এবং নাইট্রিক অক্সাইডের সঙ্গে PH_3 প্রচণ্ড শব্দ উৎপন্ন সহ বিক্রিয়া করে N_2 এবং অর্থোফসফরিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে। $PH_3 + 4N_2O = H_3PO_4 + 4N_2$; $PH_3 + 4NO = H_3PO_4 + 2N_2$

(6) শোষক ঃ জল এবং ব্লিচিং পাউডারের মিশ্রণে PH_3 সম্পূর্ণভাবে শোষিত হয়। এছাড়া কিউপ্রাস ক্লোরাইড দ্রবণে PH_3 শোষিত হয়। $4Ca(OCl)Cl + PH_3 = 4CaCl_2 + H_3PO_4$

● **PH_3-এর শনাক্তকরণ ঃ** **(i)** PH_3-এর পচা মাছের গন্ধ দ্বারা ফসফিনকে চেনা যায়। **(ii)** অ্যাসিড যুক্ত $CuSO_4$ দ্রবণে PH_3-কে চালনা করলে ফসফাইডের কালো অধঃক্ষেপ পড়ে।

● **PH_3 অণুর গঠন** (Structure of PH_3) ঃ PH_3-এর ইলেকট্রন-ডট্ দ্বারা গঠন দেখান হল।

ফসফিনে P পরমাণু 4টি sp^3 হাইব্রিড অর্বিট্যাল গঠন করে—এর মধ্যে 3টি হাইব্রিড অর্বিট্যাল সিগমা বন্ধন সৃষ্টির মাধ্যমে 3টি H পরমাণুর সাথে যুক্ত থাকে এবং চতুর্থটির মধ্যে নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল বর্তমান থাকে। H—P—H কোণ = 92° হয়।



চিত্র 1.10 ঃ ফসফিন অণুর গঠন

● **ব্যবহার ঃ** সমুদ্রগামী জাহাজকে, সমুদ্রের তলায় পাহাড় আছে জানাবার জন্য (Holmes) সিগন্যাল প্রস্তুতিতে ফসফিন ব্যবহৃত হয়।

● **ফসফিনের মধ্যে ফসফরাস বর্তমান—প্রমাণ।**

ফসফিনের মধ্যে ফসফরাস আছে তা নীচের পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করা যায়।

PH_3-এর সঙ্গে NO-এর বিক্রিয়া ঘটানো হল—বিক্রিয়ায় উৎপন্ন H_3PO_4-কে উত্তপ্ত করে মেটাফসফরিক অ্যাসিডে পরিণত করার পর ওর সঙ্গে কোক চূর্ণ মিশিয়ে উত্তপ্ত করে শুষ্ক করার পর অবশেষটিকে বকযন্ত্রে রেখে শ্বেত তপ্ত করা হল। এর ফলে উৎপন্ন গ্যাস এবং বাষ্পকে জলের মধ্যে চালনা করলে, সাদা রং-এর অবশেষ জলের নীচে জমা হয়। এই অবশেষ CS_2-তে দ্রাব্য এবং বাতাসের সংস্পর্শে জ্বলে ওঠে, সুতরাং এটি হল সাদা ফসফরাস। এই ফসফরাস PH_3 থেকে আসে।

$$PH_3 + 4NO = H_3PO_4 + 2N_2$$
$$H_3PO_4 = HPO_3 + H_2O \; ; \qquad 4HPO_3 + 12C = 12CO + 2H_2 + P_4$$

1.23. ফসফরাসের অক্সাইড [Oxides of Phosphorus]

ফসফরাসের দুটি অক্সাইড আছে— **(I)** ফসফরাস ট্রাই অক্সাইড—P_4O_6, **(II)** ফসফরাস পেন্টোক্সাইড—P_4O_{10}

(I) ফসফরাস ট্রাই অক্সাইড (P_4O_6) ঃ

[A] প্রস্তুতি (Preparation) ঃ নিয়ন্ত্রিত বায়ুপ্রবাহে ফসফরাসের দ্রবণে ফসফরাস ট্রাই অক্সাইড উৎপন্ন হয়।

$$P_4 + 3O_2 = P_4O_6$$

একটি কাচনলে সাদা P রেখে ওর উপর দিয়ে খুব ধীরে ধীরে নিয়ন্ত্রিত বায়ুপ্রবাহ চালনা করা হয়। P বায়ুর O_2-এর সঙ্গে যুক্ত হয়ে P_4O_6 উৎপন্ন করে—এর সাথে সামান্য P_4O_{10} থাকতে পারে। তাই নির্গত P_4O_6 বাষ্পকে একটি লিবিগ কন্ডেনসারের মধ্য দিয়ে চালনা করা হয়, যার বাইরের নল দিয়ে 60°C জলের স্রোত চালনা করা হয়। কন্‌ডেনসারের নলের শেষ প্রান্তে গ্লাসউল রাখা থাকে। কোনো P_4O_{10} উৎপন্ন হলে এই গ্লাসউলে আটকে যায় এবং P_4O_6 বেরিয়ে আসে। একে হিম মিশ্রণে রাখা একটি U-টিউবের মধ্যে সংগ্রহ করা হয়।

[B] ধর্ম (Properties) ঃ সাদা মোমের মতো নরম ও কেলাসিত। গলনাঙ্ক 23·8°C, স্ফুটনাঙ্ক 174°C, গন্ধ রসুনের মতো—এর বিষক্রিয়া আছে। জল, ইথার ও বেঞ্জিনে দ্রবীভূত হয়। অ্যালকোহলের সংস্পর্শে জ্বলে ওঠে।

(1) বাতাস বা অক্সিজেনের সংস্পর্শে P_2O_3 সবুজ শিখায় জ্বলে ওঠে এবং জারিত হয়ে P_2O_5 উৎপন্ন করে।

$$P_2O_3 + O_2 = P_2O_5$$

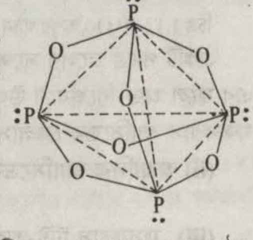
(2) ফসফরাস ট্রাই-অক্সাইড একটি আম্লিক অক্সাইড, জলে দ্রবীভূত হয়ে **ফসফরাস অ্যাসিড** দেয়।

$$P_2O_3 + 3H_2O = 2H_3PO_3$$

(3) গরম জলের সঙ্গে ফসফরাস ট্রাই-অক্সাইডের বিক্রিয়ায় সামান্য বিস্ফোরণ হয় এবং ফসফিন উৎপন্ন হয়।

$$2P_2O_3 + 6H_2O = PH_3 + 3H_3PO_4$$

● **P_4O_6 অণুর গঠন ঃ** বাষ্প ঘনত্ব পরিমাপ থেকে জানা যায় যে ফসফরাস ট্রাই-অক্সাইডের অণুর ফর্মুলা হল P_4O_6। এই অণুর মধ্যে 4টি P পরমাণু একটি চতুঃস্তলকের চারটি শীর্ষে অবস্থান করে। 6টি O-পরমাণুর প্রতিটি O-পরমাণু সমযোজী এক বন্ধনের সাহায্যে দুটি করে P পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত থাকে। এর ফলে 6টি P—O—P বন্ধন সৃষ্টি হয় যারা সরলরৈখিক নয়। এই গঠনে সরাসরি P—P বন্ধন অনুপস্থিত থাকে। প্রতিটি P-পরমাণুর সঙ্গে অব্যবহৃত একটি করে নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন জোড় বর্তমান থাকে।



চিত্র 1.11 ঃ P_2O_6 অণুর গঠন

(II) ফসফরাস পেন্টোক্সাইড (P_2O_5 বা P_4O_{10})

[A] প্রস্তুতি (Preparation) ঃ **(i)** অতিরিক্ত বায়ু বা অক্সিজেনের মধ্যে সাদা ফসফরাসকে উত্তপ্ত করলে ফসফরাস পেন্টোক্সাইড উৎপন্ন হয়।

$$P_4 + 5O_2 = P_4O_{10}$$

(ii) সাদা ফসফরাসকে 1000°C উষ্ণতায় CO_2 গ্যাসের মধ্যে দহন করলে ফসফরাস পেন্টোক্সাইড উৎপন্ন হয়।

$$2P + 5CO_2 = P_2O_5 + 5CO$$

(iii) অর্থো ফসফরিক অ্যাসিড থেকে ফসফরাস পেন্টোক্সাইড প্রস্তুতি ঃ অর্থোফসফরিক অ্যাসিডকে উচ্চ উষ্ণতায় উত্তপ্ত করে ফসফরাস পেন্টোক্সাইড পাওয়া যায়। অর্থোফসফরিক অ্যাসিডকে উত্তপ্ত করলে 213°C উষ্ণতায় **পাইরো ফসফরিক অ্যাসিডে** পরিণত হয়। 316°C উষ্ণতায় উৎপন্ন পাইরো ফসফরিক অ্যাসিড **মেটা ফসফরিক অ্যাসিডে** রূপান্তরিত হয়। উচ্চ উষ্ণতায় মেটা ফসফরিক অ্যাসিড নিরুদিত হয়ে **ফসফরাস পেন্টোক্সাইডে** পরিণত হয়।

$$\underset{\text{ফসফরিক অ্যাসিড}}{H_3PO_4} \xrightarrow[-H_2O]{213^\circ C} \underset{\text{পাইরো ফসফরিক অ্যাসিড}}{H_4P_2O_7} \xrightarrow[-H_2O]{316^\circ C} \underset{\text{মেটা ফসফরিক অ্যাসিড}}{HPO_3} \xrightarrow[-H_2O]{600^\circ C} \underset{\text{ফসফরাস পেন্টোক্সাইড}}{P_2O_5}$$

[B] ধর্ম (Properties) ঃ ফসফরাস পেন্টোক্সাইড **সাদা উদ্‌গ্রাহী পাউডার।** 250°C-এর বেশি উষ্ণতায় P_2O_5 ঊর্ধ্বপাতিত হয়।

(1) ফসফরাস পেন্টোক্সাইড **আম্লিক অক্সাইড, (i) শীতল জলে** দ্রবীভূত হলে **মেটা ফসফরিক** অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।

$$P_2O_5 + H_2O = 2HPO_3$$

(ii) গরম জলে **অর্থোফসফরিক অ্যাসিড** দেয়। $P_2O_5 + 3H_2O = 2H_3PO_4$

ক্ষারের সঙ্গে বিক্রিয়ায় ধাতব মেটাফসফেট লবণ উৎপন্ন হয়। $P_2O_5 + 2NaOH = 2NaPO_3 + H_2O$

(2) জলের প্রতি P_2O_5-এর আসক্তি অত্যন্ত বেশি। অন্য পদার্থ থেকে জল শোষণ করে বলে P_2O_5-কে **নিরুদকরূপে ব্যবহার করা হয়।** গাঢ় H_2SO_4, $CaCl_2$ প্রভৃতির চেয়ে এর নিরুদন-ক্ষমতা অনেক বেশি।

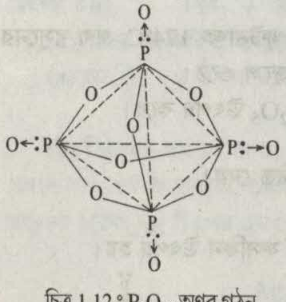
(3) গাঢ় H_2SO_4 বা HNO_3-এর সঙ্গে ফসফরাস পেন্টোক্সাইড যোগ করলে **অ্যাসিড দুটির অ্যানহাইড্রাইড** অর্থাৎ **সালফিউরিক অ্যাসিডের ক্ষেত্রে** SO_3 এবং নাইট্রিক অ্যাসিডের ক্ষেত্রে N_2O_5 এবং পারক্লোরিক অ্যাসিড থেকে Cl_2O_7 উৎপন্ন হয়।

$$H_2SO_4 + P_2O_5 = SO_3 + 2HPO_3; \quad 2HNO_3 + P_2O_5 = N_2O_5 + 2HPO_3$$

(4) ইথাইল অ্যালকোহলকে নিরুদিত করে ইথিলিনে পরিণত করে। $C_2H_5OH + P_2O_5 = C_2H_4 + 2HPO_3$

(5) 1500ºC উষ্ণতায় P_2O_5 কোক দ্বারা বিজারিত হয়ে সাদা ফসফরাস উৎপন্ন করে। এই বিক্রিয়া প্রমাণ করে যে P_2O_5-এর মধ্যে P আছে। $2P_2O_5 + 10C = P_4 + 10CO$

[C] ব্যবহার (Uses) ঃ নিরুদক হিসাবে এবং ফসফরিক অ্যাসিড প্রস্তুতিতে P_2O_5 ব্যবহার করা হয়।



চিত্র 1.12 ঃ P_2O_{10} অণুর গঠন

● **P_2O_{10} অণুর গঠন** ঃ ফসফরাস পেন্টোক্সাইডের আণবিক সংকেত পাশে দেখানো হল। বাষ্প ঘনত্ব পরিমাপ থেকে জানা যায় যে—ফসফরাস পেন্টোক্সাইড এর সংকেত হল P_4O_{10}—এই অণুর মধ্যে 4টি P পরমাণু একটি চতুঃস্তলকের চারটি শীর্ষে অবস্থান করে। 6টি O পরমাণুর প্রতিটি সমযোজী একবন্ধনের সাহায্যে 2টি করে P পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত থাকে। এর ফলে 6টি P—O—P বন্ধনের সৃষ্টি হয় যেগুলি সরলরৈখিক নয়। বাকি 4টি O পরমাণুর প্রত্যেকটি P পরমাণুর অসমযোজ্যতার দ্বারা যুক্ত থাকে।

1.24. ফসফরাস অ্যাসিড [Phosphorus Acid (H_3PO_3)] ঃ

[A] প্রস্তুতি (Preparation) ঃ (i) ঠান্ডা জলে **ফসফরাস ট্রাই-ক্লোরাইডের** আর্দ্র-বিশ্লেষণ দ্বারা ফসফরাস অ্যাসিড প্রস্তুত করা হয়। $PCl_3 + 3H_2O = H_3PO_3 + 3HCl$

একটি পাত্রে জলের সঙ্গে ফসফরাস ট্রাই-ক্লোরাইড মেশানো হয়। তারপর দ্রবণটিকে প্রায় 180ºC উষ্ণতায় উত্তপ্ত করা হয়। এর ফলে আর্দ্র-বিশ্লেষণে উৎপন্ন উদ্‌বায়ী HCl বাষ্পীভূত হয়ে চলে যায় এবং দ্রবণটি গাঢ় হয়। এই গাঢ় দ্রবণকে ঠান্ডা করলে ফসফরাস অ্যাসিডের কেলাস দ্রবণ থেকে পৃথক হয়।

(ii) **অক্সালিক অ্যাসিডের সঙ্গে ফসফরাস ট্রাই-ক্লোরাইড** মিশিয়ে উত্তপ্ত করলে ফসফরাস অ্যাসিড পাওয়া যায়।

$$PCl_3 + 3H_2C_2O_4 = H_3PO_3 + 3CO_2 + 3CO + 3HCl$$

(iii) ফসফরাস ট্রাই-অক্সাইডকে ঠান্ডা জলে দ্রবীভূত করলে ফসফরাস অ্যাসিড পাওয়া যায়।

$$P_2O_3 + 3H_2O = 2H_3PO_3$$

[B] ধর্ম (Properties) ঃ ফসফরাস অ্যাসিড উদগ্রাহী, সাদা কেলাসিত পদার্থ। এর গলনাঙ্ক 74ºC। জলে দ্রাব্য।

(1) কেলাসিত ফসফরাস অ্যাসিডকে উত্তপ্ত করলে (200ºC) বিয়োজিত হয়ে **ফসফিন ও ফসফরিক অ্যাসিড** উৎপন্ন করে।

$$4H_3\overset{+3}{P}O_3 = \overset{-3}{P}H_3 + 3H_3\overset{+5}{P}O_4$$

এই বিক্রিয়ায় H_3PO_3 বিজারিত হয়ে PH_3-তে পরিণত হয় এবং একই সঙ্গে জারিত হয়ে ফসফরিক অ্যাসিডে পরিণত হয়। এই রকম জারণ বিজারণ বিক্রিয়া **ডিস্‌প্রোপোরসনেশন বিক্রিয়া** নামে পরিচিত।

(2) **বিজারণ ধর্ম** ঃ ফসফরাস অ্যাসিডের বিজারণ ক্ষমতা আছে। [ফসফরাস অ্যাসিডের অণুর মধ্যে একটি H পরমাণু সরাসরি P পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত থাকে। এই H পরমাণুটির জন্য ফসফরাস অ্যাসিডের বিজারণ ধর্ম প্রকাশ পায়।]

(i) মারকিউরিক লবণকে বিজারিত করে **মারকিউরাস লবণে** পরিণত করে।

$$H_3PO_3 + 2HgCl_2 + H_2O = H_3PO_4 + Hg_2Cl_2 + 2HCl$$

(ii) **সিলভার, কপার** প্রভৃতি ধাতুর লবণের দ্রবণ থেকে **ধাতু মুক্ত** করে। প্রতিক্ষেত্রে নিজে জারিত হয়ে H_3PO_4-এ পরিণত হয়।

$$H_3PO_3 + 2\overset{+1}{Ag}NO_3 + H_2O = 2\overset{0}{Ag}\downarrow + H_3PO_4 + 2HNO_3$$

$$\overset{+2}{Cu}SO_4 + H_3PO_3 + H_2O = \overset{0}{Cu}\downarrow + H_3PO_4 + H_2SO_4$$

(iii) সালফার ডাইঅক্সাইডকে বিজারিত করে সালফারের অধঃক্ষেপ উৎপন্ন করে।

$$\overset{+4}{S}O_2 + 2H_3PO_3 = \overset{0}{S} + 2H_3PO_4$$

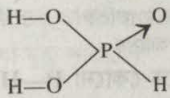
(iv) বেগুনি বর্ণের অ্যাসিড যুক্ত $KMnO_4$ দ্রবণকে বিজারিত করে বর্ণহীন **ম্যাঙ্গানাস লবণ** উৎপন্ন করে। ফলে দ্রবণের বেগুনি বর্ণ বর্ণহীন হয়।

$$2KMnO_4 + 3H_2SO_4 + 5H_3PO_3 = K_2SO_4 + 2MnSO_4 + 5H_3PO_4 + 3H_2O$$

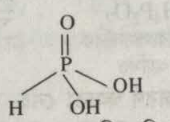
(v) H_3PO_3 আয়োডিনকে বিজারিত করে বর্ণহীন **হাইড্রোআয়োডিক অ্যাসিডে** পরিণত করে।

$$\overset{0}{I_2} + H_3PO_3 + H_2O = 2H\overset{-1}{I} + H_3PO_4$$

(3) H_3PO_3-এর অণুতে তিনটি H পরমাণু থাকলেও ফসফরাস অ্যাসিড দ্বিক্ষারিক অ্যাসিড। ফসফরাস অ্যাসিডের অণুতে তিনটি H পরমাণু থাকলেও, মাত্র দুটি H পরমাণু প্রতিস্থাপনীয়। সেজন্য ফসফরাস অ্যাসিড দ্বিক্ষারিক অ্যাসিড, ক্ষারের সঙ্গে বিক্রিয়ায় দুই রকম লবণ উৎপন্ন করে—নর্ম্যাল লবণ এবং অ্যাসিড লবণ। যেমন NaH_2PO_3 (অ্যাসিড লবণ) এবং Na_2HPO_3 (নর্ম্যাল লবণ)। এর কারণ হল এই যে, H_3PO_3 অ্যাসিডের 3টি H পরমাণুর মধ্যে একটি H পরমাণু P পরমাণুর সঙ্গে প্রত্যক্ষভাবে যুক্ত আছে, তাই এই H পরমাণুটি প্রতিস্থাপন যোগ্য নয়।



বা



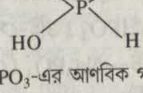
ফসফরাস অ্যাসিড (দ্বিক্ষারীয়)

(4) ফসফরাস পেন্টাক্লোরাইডের সঙ্গে বিক্রিয়ায় **ফসফরাস ট্রাই-ক্লোরাইড ও ফসফরাস অক্সিক্লোরাইড** উৎপন্ন হয়।

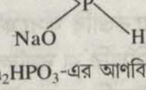
$$H_3PO_3 + 3PCl_5 = PCl_3 + 3POCl_3 + 3HCl$$

● **Na_2HPO_3—একটি নর্ম্যাল লবণ; অথবা, Na_3PO_3 লবণটির অস্তিত্ব নেই—কারণ ব্যাখ্যা করো।**

ফসফরাস অ্যাসিড অণুর মধ্যে অবস্থিত তিনটি H পরমাণুর মধ্যে মাত্র একটি H পরমাণু সরাসরি P পরমাণুর সঙ্গে সমযোজী সিগমা বন্ধন দ্বারা যুক্ত থাকে। অপর দুটি H পরমাণু দুটি OH গ্রুপের মাধ্যমে P পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত থাকে। এখন এই দুটি OH গ্রুপের 2টি H পরমাণু ধাতুর পরমাণু দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে লবণ উৎপন্ন করতে পারে কিন্তু যে H পরমাণুটি সরাসরি P পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত সেটি ধাতব মূলক দ্বারা প্রতিস্থাপিত হতে পারে না। সুতরাং দেখা গেল যে H_3PO_3-এর মধ্যে তিনটি H পরমাণু থাকলেও আসলে এটি দ্বিক্ষারীয় অ্যাসিড। এই কারণে Na_2HPO_3 একটি নর্ম্যাল লবণ—কারণ এর মধ্যে যে H পরমাণুটি আছে সেটি সরাসরি সমযোজ্যতা দ্বারা P পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত থাকায় ওই H পরমাণুটি প্রতিস্থাপনযোগ্য নয়। তাই Na_3PO_3 লবণটির অস্তিত্ব থাকতে পারে না।



H_3PO_3-এর আণবিক গঠন



Na_2HPO_3-এর আণবিক গঠন

1.25. অর্থো ফসফরিক অ্যাসিড [Ortho Phosphoric Acid (H_3PO_4)]

[A] প্রস্তুতি (Preparation) **: (1) ফসফরাস পেন্টোক্সাইডকে ফুটন্ত জলে সতর্কতার সঙ্গে** ধীরে ধীরে দ্রবীভূত করলে অর্থো ফসফরিক অ্যাসিড পাওয়া যায়।

$$P_2O_5 + 3H_2O = 2H_3PO_4$$

(2) পরীক্ষাগারে গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিডের সঙ্গে লাল ফসফরাস মিশিয়ে ফোটালে অর্থো ফসফরিক অ্যাসিড ও NO এবং NO_2 উৎপন্ন হয়।

$$4P + 10HNO_3 + H_2O = 4H_3PO_4 + 5NO + 5NO_2$$

একটি গোলতল ফ্লাস্কের মধ্যে গাঢ় HNO_3 এবং ফসফরাস নিয়ে জলগাহে উত্তপ্ত করা হয়, যতক্ষণ পর্যন্ত না গাঢ় বাদামি বর্ণের NO_2 গ্যাস উৎপন্ন হয়। উত্তপ্ত অবস্থায় নাইট্রোজেনের অক্সাইডগুলি বেরিয়ে যায় এবং দ্রবণটি গাঢ় সিরাপে পরিণত হয়। ঠান্ডা ডেসিকেটারের মধ্যে এই গাঢ় দ্রবণটি রেখে দিলে অর্থো ফসফরিক অ্যাসিডের কেলাস পাওয়া যায়। এই পদ্ধতির সাহায্যে বিশুদ্ধ অর্থো ফসফরিক অ্যাসিড পাওয়া যায়।

(3) অস্থিভস্ম থেকে (From bone ash) **: (i)** বেশি পরিমাণে অর্থো ফসফরিক অ্যাসিড উৎপন্ন করতে হলে **ফসফরাইট আকরিক বা অস্থিভস্ম চূর্ণের সঙ্গে নাতিগাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের বিক্রিয়া** ঘটানো হয়।

(i) একটি লোহার পাত্রে ফসফরাইট আকরিক বা অস্থিভস্মচূর্ণ এবং 60% সালফিউরিক অ্যাসিড রেখে কয়েক ঘণ্টা ধরে ফোটানো হয়। এর ফলে ফসফরাইট আকরিক বা অস্থিভস্মের ক্যালশিয়াম ফসফেট বিয়োজিত হয়ে অদ্রাব্য ক্যালশিয়াম সালফেট এবং ফসফরিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে।

$$Ca_3(PO_4)_2 + 3H_2SO_4 = 3CaSO_4\downarrow + 2H_3PO_4$$

(ii) ক্যালশিয়াম সালফেটকে ফিলটার করে পৃথক করা হয়। পরিস্রুতকে উত্তপ্ত করে গাঢ় করলে অর্থো ফসফরিক অ্যাসিডের সিরাপ তৈরি হয়।

[B] ধর্ম (Properties) **:** বিশুদ্ধ অর্থো ফসফরিক অ্যাসিড কাচের মতো বর্ণহীন, উদগ্রাহী, কঠিন পদার্থ—গলনাঙ্ক 42°C। সাধারণত অর্থো ফসফরিক অ্যাসিডকে সিরাপের মতো পাওয়া যায়। ফসফরিক অ্যাসিড জলে খুব দ্রাব্য। ফসফরিক অ্যাসিডের অণুগুলির মধ্যে আন্তরাণবিক H-বন্ধন থাকার দরুন এই অ্যাসিড সিরাপের মতো।

(i) উত্তপ্ত করলে **250°C উষ্ণতায়** অর্থো ফসফরিক অ্যাসিড **পাইরো ফসফরিক অ্যাসিডে** ($H_4P_2O_7$) পরিণত হয়। **320°C উষ্ণতায়** উত্তপ্ত করলে, পাইরোফসফরিক অ্যাসিড **মেটাফসফরিক অ্যাসিডে** (HPO_3) পরিণত হয়। মেটা-ফসফরিক অ্যাসিড **600°C—700°C উষ্ণতায় ফসফরাস পেন্টোক্সাইড** (P_4O_{10}) উৎপন্ন করে। এই বিক্রিয়াগুলি উভমুখী অর্থাৎ উৎপন্ন পদার্থগুলির সঙ্গো জল যুক্ত হলে ওইগুলি আবার অর্থোফসফরিক অ্যাসিডে পরিণত হয়।

$$\underset{\text{অর্থো ফসফরিক অ্যাসিড}}{2H_3PO_4} \underset{+H_2O}{\overset{250°C}{\rightleftharpoons}} \underset{\text{পাইরো ফসফরিক অ্যাসিড}}{H_4P_2O_7} \underset{+H_2O}{\overset{320°C}{\rightleftharpoons}} \underset{\text{মেটা ফসফরিক অ্যাসিড}}{2HPO_3} \underset{+H_2O}{\overset{600°C}{\rightleftharpoons}} \underset{\text{ফসফরাস পেন্টোক্সাইড}}{P_2O_5}$$

(ii) অর্থো ফসফরিক অ্যাসিডের বিজারণ ক্ষমতা নেই, কারণ এর অণুতে কোনো P—H বন্ধন নেই।

(iii) অর্থো ফসফরিক অ্যাসিডের অণুতে **তিনটি প্রতিস্থাপনীয় হাইড্রোজেন পরমাণু আছে, সেজন্য অর্থো ফসফরিক অ্যাসিড ত্রিক্ষারিক।** কাজেই অর্থো ফসফরিক অ্যাসিড তিন রকম লবণ উৎপন্ন করে। এই লবণগুলিকে **ফসফেট** বলে। যেমন— NaH_2PO_4, Na_2HPO_4, Na_3PO_4। অর্থো ফসফরিক অ্যাসিডের একটি H-পরমাণু প্রতিস্থাপিত হয়ে যে লবণ উৎপন্ন হয় তাকে **প্রাইমারি**, দুটি H পরমাণু প্রতিস্থাপিত হয়ে যে লবণ উৎপন্ন হয় তাকে **সেকেন্ডারি** এবং তিনটি H পরমাণু প্রতিস্থাপিত হয়ে যে লবণ উৎপন্ন হয় তাকে **টার্সিয়ারি** বা **নর্ম্যাল ফসফেট** বলে। যেমন—

প্রাইমারি ফসফেট—NaH_2PO_4 (সোডিয়াম ডাই-হাইড্রোজেন ফসফেট)।

সেকেন্ডারি ফসফেট—Na_2HPO_4 (ডাই-সোডিয়াম হাইড্রোজেন ফসফেট)।

টার্সিয়ারি বা নর্ম্যাল ফসফেট—Na_3PO_4 (সোডিয়াম ফসফেট)।

প্রাইমারি ফসফেটগুলি আম্লিক (Acidic), **সেকেন্ডারি ফসফেট প্রশম** (Neutral) এবং **টার্সিয়ারি ফসফেট ক্ষারীয়** (Alkaline) পদার্থ।

$$H_3PO_4 + NaOH = NaH_2PO_4 + H_2O$$
$$H_3PO_4 + 2NaOH = Na_2HPO_4 + 2H_2O$$
$$H_3PO_4 + 3NaOH = Na_3PO_3 + 3H_2O$$

(iv) ব্রোমাইড এবং আয়োডাইড লবণের সঙ্গো ফসফরিক অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় যথাক্রমে HBr এবং HI উৎপন্ন হয়।

$$3NaBr + H_3PO_4 = Na_3PO_4 + 3HBr \qquad 3KI + H_3PO_4 = K_3PO_4 + 3HI$$

(v) সিলভার নাইট্রেট দ্রবণের সাথে ফসফরিক অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় **সিলভার ফসফেটের হলুদ অধঃক্ষেপ পড়ে।**

$$3AgNO_3 + H_3PO_4 = Ag_3PO_4\downarrow + 3HNO_3$$

(vi) প্রশম অথবা সামান্য ক্ষারীয় $BaCl_2$ দ্রবণে H_3PO_4 যোগ করলে অদ্রাব্য **বেরিয়াম ফসফেটের** সাদা অধঃক্ষেপ পড়ে।

$$3BaCl_2 + 2H_3PO_4 = Ba_3(PO_4)_2\downarrow + 6HCl$$

(vii) অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড ও হাইড্রক্সাইড মেশানো ম্যাগনেশিয়াম লবণের দ্রবণে H_3PO_4 যোগ করলে **অ্যামোনিয়াম ম্যাগনেশিয়াম ফসফেটের সাদা কেলাসিত অধঃক্ষেপ পড়ে।**

$$H_3PO_4 + MgCl_2 + 3NH_3 + 6H_2O = NH_4MgPO_4, 6H_2O\downarrow + 2NH_4Cl$$

● **শনাক্তকরণ ঃ**

(i) অর্থো ফসফরিক অ্যাসিড বা ফসফেট লবণের সঙ্গো গাঢ় HNO_3 এবং **অ্যামোনিয়াম মলিবডেট দ্রবণ** মিশিয়ে সামান্য উত্তপ্ত করলে হলুদ বর্ণের অধঃক্ষেপ পড়ে। অধঃক্ষেপটি **অ্যামোনিয়াম ফসফোমলিবডেট।**

(ii) NH_4Cl এবং NH_4OH মেশানো **ম্যাগনেশিয়াম** লবণের দ্রবণে H_3PO_4 বা ফসফেট লবণের দ্রবণ যোগ করলে সাদা কেলাসিত অধঃক্ষেপ পাওয়া যায়। অধঃক্ষেপটি **অ্যামোনিয়াম ম্যাগনেশিয়াম ফসফেট।**

● **ব্যবহার ঃ** হাইড্রোব্রোমিক ও হাইড্রো আয়োডিক অ্যাসিডের পরীক্ষাগার প্রস্তুতিতে, ইথিলিন ও ফসফেট লবণ প্রস্তুতিতে অর্থোফসফরিক অ্যাসিড ব্যবহৃত হয়।

● **ফসফরাস অ্যাসিড এবং অর্থো ফসফরিক অ্যাসিডে ফসফরাস আছে—প্রমাণ করো।**

প্রথমে ফসফরাস অ্যাসিডকে তীব্রভাবে উত্তপ্ত করা হল—এর ফলে ফসফরাস অ্যাসিড বিয়োজিত হয়ে অর্থো ফসফরিক অ্যাসিড এবং ফসফিন উৎপন্ন করে। $4H_3PO_3 = PH_3\uparrow + 3H_3PO_4$

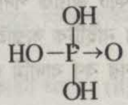
এভাবে প্রাপ্ত অর্থো ফসফরিক অ্যাসিডকে একটি লোহার পাত্রে নিয়ে তার সঙ্গো চারকোলের গুঁড়া ভাল করে মিশিয়ে তাপ প্রয়োগ

করে শুষ্ক করা হল। শুষ্ক অবশেষকে তীব্রভারে উত্তপ্ত করা হল এবং উৎপন্ন বাষ্পকে ঠান্ডা জলের মধ্যে চালনা করা হল। এর ফলে জলের তলায় কঠিন অবশেষ পাওয়া যায়। এই অবশেষটির গন্ধ রসুনের মতো—বাতাসের সংস্পর্শে এলে নিজে থেকে জ্বলে ওঠে এবং সাদা ধোঁয়ার সৃষ্টি করে, কার্বন টেট্রাক্লোরাইডে দ্রবীভূত হয় এবং অনুপ্রভার সৃষ্টি করে। সুতরাং অবশেষটি ফসফরাস। এই ফসফরাস, অর্থো ফসফরিক অ্যাসিড থেকে এসেছে।

$$H_3PO_4 \xrightarrow{\Delta} HPO_3 + H_2O$$

$$4HPO_4 + 12C = P_4 + 12CO + 2H_2$$

● **অর্থো ফসফরিক অ্যাসিডের আণবিক গঠন ঃ** ফসফরিক অ্যাসিড একটি ত্রিক্ষারী অ্যাসিড। সুতরাং এর অণুতে তিনটি OH গ্রুপ সরাসরি P পরমাণুর সঙ্গো যুক্ত থাকবে।



● অনুশীলনী ●

[A] অতিসংক্ষিপ্ত উত্তরধর্মী প্রশ্ন ঃ

1. শুষ্ক বরফ কী? একে শুষ্ক বলা হয় কেন? **2.** ক্যাটিলেশন ধর্ম কাকে বলে? **3.** ফুলারিন কী? **4.** ওয়াটার গ্যাস কী? কীভাবে এটি তৈরি হয়? **5.** CO_2 কে চুনজলের মধ্যে চালনা করা হল। বিক্রিয়াটির সমিত সমীকরণ লেখো। **6.** হীরক এবং গ্রাফাইট C—C এর সংকরায়ণের প্রকার বল। **7.** একটি বিক্রিয়ার উদাহরণ দাও যেখানে N_2 জারক রূপে ব্যবহৃত হয়। **8.** নস্‌লার বিকারক কী? এটি কিসে ব্যবহৃত হয়? **9.** N পরমাণু পেন্টা হ্যালাইড গঠন করতে পারে না কেন? **10.** লাফিং গ্যাস কী? একটি কীভাবে প্রস্তুত করা হয়? **11.** নাইট্রেট মূলকের উপস্থিতির পরীক্ষায় বলয় পরীক্ষায় উৎপন্ন বলয়ে উপস্থিত জটিল যৌগটির ফর্মুলা লেখো। **12.** গাঢ় HNO_3 এর মধ্যে একটুকরা আয়রন ডোবালে কী ঘটে? **13.** N_2O-এর রেজোনেটিং গঠন প্রকাশ করো। **14.** $CuSO_4$ দ্রবণে অতিরিক্ত অ্যামোনিয়া যোগ করলে কী কী হবে? **15.** সোনা অ্যাকোয়া রিজিয়াতে দ্রবীভূত হয়—বিক্রিয়াটির সমিত সমীকরণ দাও।

[B] সংক্ষিপ্ত উত্তরধর্মী প্রশ্ন ঃ

1. (a) প্রকৃতির মধ্যে কার্বনের বিভিন্নরূপে অবস্থান সম্বন্ধে যা জান লেখো। **(b)** প্রকৃতির মধ্যে প্রাপ্ত কার্বনের আইসোটোপগুলির প্রত্যেকটির আণবিক ভর শতকরা পরিমাণসহ লেখো। **(c)** হীরক কঠিনতম মৌল কেন? হীরক তাপ ও তড়িতের অপরিবাহী অথচ গ্রাফাইট নরম, তাপ এবং তড়িতের সুপরিবাহী কেন?

2. প্রকৃতির মধ্যে পাওয়া কার্বন পরমাণুর বিভিন্ন আইসোটোপের আণবিক ভর সহ শতকরা পরিমাণ দেখাও।

3. একটি ছোটো হীরককে আয়রনের সঙ্গো সংকরায়িত করা হল—এর ফলে কী উৎপন্ন হল? এই পরীক্ষায় কীভাবে হীরকের রাসায়নিক প্রকৃতি উন্মোচিত হল?

4. (a) পরীক্ষাগারে কার্বন ডাইঅক্সাইড গ্যাস প্রস্তুত প্রণালী বর্ণনা করো। উৎপন্ন CO_2কে কীভাবে সংগ্রহ করা হয়? **(b)** শুষ্ক বরফ কী? ওর ব্যবহার সম্বন্ধে লেখো।

5. (a) পরীক্ষাগারে কীভাবে কার্বন মনোক্সাইড প্রস্তুত করা হয় বর্ণনা করো। **(b)** অক্সালিক অ্যাসিড থেকে কীভাবে কার্বন মনোক্সাইড উৎপন্ন করা যায় সমীকরণসহ উল্লেখ করো। **[*H. S. '04*]** **(c)** কার্বন ডাইঅক্সাইডকে কীভাবে অক্সালিক অ্যাসিডে পরিণত করা যায়?

6. (a) CO_2 এবং CO গ্যাসকে শনাক্ত করবে কীভাবে? **(b)** প্রমাণ করো যে কার্বন ডাইঅক্সাইডে কার্বন থাকে। **(c)** CO গ্যাসের বিজারণ ক্ষমতা দুটি উদাহরণ দাও?

7. একটি গ্যাস মিশ্রণে CO_2 এবং CO আছে। মিশ্রণটিকে তুমি কীভাবে **(i)** সম্পূর্ণরূপে CO_2-তে, **(ii)** সম্পূর্ণভাবে CO-তে রূপান্তরিত করবে?

8. (a) জ্বালানি হিসাবে এবং বিজারক হিসাবে কার্বন মনোক্সাইডের ব্যবহারের সংক্ষিপ্ত বিবরণ দাও। **(b)** সোডিয়াম কার্বনেটকে বাইকার্বনেটে এবং সোডিয়াম কার্বনেটকে কার্বনেটে পরিবর্তিত করবে কীভাবে?

9. বায়ু থেকে কীভাবে নাইট্রোজেন গ্যাস উৎপন্ন হয়? বায়ু থেকে প্রাপ্ত নাইট্রোজেন, অ্যামোনিয়াম নাইট্রাইট থেকে উৎপন্ন নাইট্রোজেনের চেয়ে ভারী হয় কেন?

10. শর্ত ও সমীকরণ সহ নাইট্রোজেনের সঙ্গে **(i)** হাইড্রোজেন, **(ii)** অক্সিজেন, **(iii)** অ্যালুমিনিয়াম, **(iv)** ক্যালশিয়াম কার্বাইডের বিক্রিয়া বর্ণনা করো।

11. (a) পরীক্ষাগারে অ্যামোনিয়া গ্যাস কীভাবে প্রস্তুত করা হয় বর্ণনা করো। অ্যামোনিয়াকে জলের উপর সংগ্রহ করা হয় না কেন?

12. (a) অ্যামোনিয়া গ্যাসকে গাঢ় H_2SO_4, P_2O_5 বা অনার্দ্র $CaCl_2$ দ্বারা শুষ্ক করা যায় না কেন?

13. (a) অ্যামোনিয়া একটি বিজারক—একটি বিক্রিয়া দ্বারা উক্তিটির সত্যতা প্রমাণ করো। **(b)** প্রমাণ করো, **(i)** অ্যামোনিয়ার মধ্যে নাইট্রোজেন এবং হাইড্রোজেন বর্তমান। **(ii)** অ্যামোনিয়া থেকে কীভাবে **(a)** ইউরিয়া এবং **(b)** নাইট্রিক অ্যাসিড পাওয়া যায়।

14. (a) অক্সিজেন ছাড়া একটি গ্যাসীয় যৌগের নাম করো যা প্রজ্বলনে সাহায্য করে। **(b)** O_2 এবং N_2O উভয়ই বর্ণহীন এবং উভয়ই দহনের সহায়ক—গ্যাস দুটিকে শনাক্ত করবে কীভাবে? **(c)** প্রমাণ করো নাইট্রাস অক্সাইড একটি জারক পদার্থ।

15. (a) পরীক্ষাগারে নাইট্রিক অক্সাইড প্রস্তুতির বর্ণনা দাও। তা বিশুদ্ধ করা হয় কীভাবে? **(b)** নাইট্রিক অক্সাইডের জারণ এবং বিজারণ ধর্ম দেখা যায় কেন? **(c)** প্রমাণ করো নাইট্রিক অক্সাইড একটি জারক পদার্থ।

16. (a) নাইট্রিক অক্সাইড প্রশম অক্সাইড কেন? বর্ণহীন নাইট্রিক অক্সাইড বায়ু বা O_2-এর সংস্পর্শে এলে বাদামি হয়ে যায় কেন? **(b)** ঠান্ডা ফেরাস সালফেট দ্রবণে NO চালনা করলে দ্রবণের বর্ণ বাদামি হয়ে যায় কেন? এই বাদামি দ্রবণটিকে গরম করলে আবার স্বচ্ছ হয়ে যায় কেন?

17. (a) নাইট্রোজেন ডাই-অক্সাইডের প্রস্তুতি বর্ণনা করো। গ্যাসটির শোষক কী? গ্যাসটিকে মিশ্র অ্যানহাইড্রাইড বলে কেন? **(b)** NO_2-এর সঙ্গে **(i)** হাইড্রোজেন সালফাইড, **(ii)** ওজোন, **(iii)** ফসফরাসের বিক্রিয়ায় কী ঘটে সমীকরণ সহ লেখো।

18. (i) প্রকৃতির মধ্যে ফসফরাসের আকরিকগুলির নাম লেখো। **(ii)** ফসফরাইট খনিজ আকরিক থেকে তড়িৎ পদ্ধতিতে সাদা ফসফরাস কীভাবে উৎপন্ন করা যায় বর্ণনা করো।

19. ফসফেট আকরিক থেকে কীভাবে **(i)** শ্বেত ফসফরাস, **(ii)** লোহিত ফসফরাস, **(iii)** ফসফরাস পেন্টোক্সাইড এবং **(iv)** অর্থো ফসফরিক অ্যাসিড প্রস্তুত করা যায়?

20. (a) পরীক্ষাগারে কীভাবে ফসফিন গ্যাস প্রস্তুত করা হয় এবং সংগ্রহ করা হয়? **(b)** বিশুদ্ধ ফসফিন কীভাবে পাওয়া যায়? ফসফিনকে শনাক্ত করবে কীভাবে? **(c)** ফসফিন এবং অ্যামোনিয়ার মধ্যে কার ক্ষারকীয়তা বেশি এবং কেন?

21. (a) ফসফিনের **(i)** ক্ষারীয় ধর্ম, **(ii)** বিজারণ ধর্ম এবং অধঃক্ষেপণ বিক্রিয়ার উদাহরণ দাও।

(b) অ্যামোনিয়া এবং ফসফিনের ধর্মের তুলনা করো।

22. গাঢ় এবং উষ্ণ সোডিয়াম হাইড্রক্সাইড দ্রবণের সঙ্গে শ্বেত ফসফরাসের বিক্রিয়া দ্বারা ফসফিন প্রস্তুতিতে যে রাসায়নিক বিক্রিয়াটি ঘটে তার সমীকরণ লিখে প্রমাণ করো যে বিক্রিয়াটি জারণ-বিজারণ বিক্রিয়া।

23. ফসফরাস ট্রাই অক্সাইড এবং ফসফরাস পেন্টোক্সাইডের প্রস্তুতি বর্ণনা করো।

24. ফসফরাস অ্যাসিড কীভাবে প্রস্তুত করা হয়? ফসফরাস অ্যাসিডের বিজারণ ধর্ম বর্ণনা করো। এই অ্যাসিডের ক্ষারকত্ব কত এবং কেন? অ্যাসিডটি কয় রকম লবণ উৎপন্ন করে?

25. (a) ফসফরাস এবং **(b)** অস্থিভস্ম থেকে কীভাবে অর্থো ফসফরিক অ্যাসিড প্রস্তুত করা হয় বর্ণনা করো। উদাহরণ সহ বর্ণনা করো।

26. নীচের জোড়গুলির মধ্যে পার্থক্য নির্ণয় করার জন্য রাসায়নিক বিক্রিয়া সমীকরণ সহ বর্ণনা করো—

(i) লাল ফসফরাস এবং শ্বেত ফসফরাস, **(ii)** ফসফরাস অ্যাসিড এবং ফসফরিক অ্যাসিড, **(iii)** অ্যামোনিয়া এবং ফসফিন।

27. প্রমাণ করো—

(i) ফসফিন একটি বিজারক। **(ii)** ফসফিনে ফসফরাস আছে। **(iii)** ফসফিন ক্ষারধর্মী। **(iv)** P_2O_3 একটি আম্লিক অক্সাইড এবং P_2O_5 একটি তীব্র নিরুদক।

[C] রচনাধর্মী প্রশ্ন :

1. (a) কার্বন মনোক্সাইড এবং নাইট্রিক অক্সাইডের ভৌত এবং রাসায়নিক ধর্মের তুলনা করো। ওয়াটার গ্যাস কী? **(b)** এক টুকরো মার্বেল এবং এক টুকরো সিলিকা আছে। কোনটি মার্বেলের টুকরা কী করে শনাক্ত করবে?

2. (i) অ্যামোনিয়া এবং **(ii)** জ্বলন্ত পটাশিয়ামের সঙ্গে CO_2-এর বিক্রিয়ায় কী ঘটে? CO_2-এর ব্যবহার লেখো। সোডিয়াম ফর্মেট থেকে কীভাবে CO প্রস্তুত করবে? ***[H. S. '03]***

3. সমীকরণসহ ব্যাখ্যা করো কোন অবস্থায় কী ঘটে—

(a) NH_3 দ্বারা সম্পৃক্ত NaCl-এর গাঢ় দ্রবণে CO_2 গ্যাস চালনা করা হল। **(b)** ক্যালশিয়াম কার্বনেটকে কোকের সঙ্গে তীব্রভাবে উত্তপ্ত করা হয়। **(c)** কস্টিক সোডা দ্রবণে, নিয়ন্ত্রিত CO_2 চালনা করায় যে কঠিন পদার্থ দ্রবণ থেকে পৃথক হয়, তাকে উত্তপ্ত করা হল। **(d)** লোহিত তপ্ত কোকের উপর দিয়ে CO_2 এবং SO_2 পৃথকভাবে চালনা করা হল। **(e)** নিকেল চূর্ণের উপর দিয়ে CO গ্যাস চালনা করা হল। **(f)** ক্লোরিন এবং কার্বন মনোক্সাইডের মিশ্রণকে সূর্যালোকে রাখা হল। **(g)** জিপসাম ও জলের মিশ্রণের মধ্য দিয়ে অ্যামোনিয়া

ও CO_2 গ্যাস চালনা করা হল। **(h)** জ্বলন্ত Mg তার CO_2 পূর্ণ গ্যাসজারে প্রবিস্ট করা হল। **(i)** লোহিত তপ্ত কোকের উপর স্টিমের বিক্রিয়া ঘটানো হল। **(j)** 200°C উষ্ণতার গাঢ় NaOH দ্রবণে অতিরিক্ত CO চালনা করা হল। **(k)** বিচূর্ণ অক্সালিক অ্যাসিড ঘন H_2SO_4 সহযোগে উত্তপ্ত করা হল। **(l)** সোডিয়াম ফর্মেটকে গাঢ় H_2SO_4 সহ উত্তপ্ত করা হল।

4. নীচের উক্তিগুলির কারণসহ ব্যাখ্যা করো ঃ—

(a) মার্বেল বা চুনাপাথর থেকে CO_2 প্রস্তুতে HCl-এর পরিবর্তে H_2SO_4-এ ব্যবহার করা যায় না। **(b)** কার্বন পালিশ করার কাজে এবং লুব্রিক্যান্ট রূপেও ব্যবহৃত হয়। **(c)** চুন জল বাতাসে রাখলে ওর উপর সর পড়ে। **(d)** হীরক তড়িৎ এবং তাপের অপরিবাহী কিন্তু গ্রাফাইট তড়িৎ এবং তাপের পরিবাহী। **(e)** CO গ্যাস দাহ্য কিন্তু CO_2 দাহ্য নয় কেন? **(f)** CO_2 গ্যাসকে CaO দ্বারা শুষ্ক করা যায় না। **(g)** সোডা ওয়াটার বোতলের কর্ক খুললে বুদবুদ ওঠে কেন? **(h)** ম্যাগনেশিয়াম ধাতুতে আগুন লাগলে CO_2 গ্যাস দ্বারা সেই আগুন নেভানো যায় না। **(i)** কার্বন মনোক্সাইডের বিজারণ ধর্ম আছে কিন্তু কার্বন ডাইঅক্সাইডের বিজারণ ধর্ম নেই। **(j)** CO যুতযৌগ গঠন করে কিন্তু CO_2 যুতযৌগ গঠন করতে পারে না।

5. কীভাবে প্রমাণ করবে— (i) কার্বন ডাইঅক্সাইডে কার্বন আছে। **(ii)** ক্যালশিয়াম কার্বনেটে কার্বন আছে। **(iii)** কার্বন মনোক্সাইডে কার্বন আছে। **(iv)** উচ্চ উষ্ণতায় CO_2 জারকের কাজ করে। **(v)** CO_2 জলে দ্রাব্য এবং জলীয় দ্রবণ অ্যাসিডধর্মী।

6. নীচের প্রশ্নগুলির উত্তর দাও—

(i) স্বচ্ছ চুন জলে CO_2 পাঠালে ঘোলা হয়ে যায়। ওই দ্রবণে অতিরিক্ত CO_2 পাঠালে আবার স্বচ্ছ হয়ে যায় কেন? **(ii)** হীরক এবং গ্রাফাইটে কার্বন পরমাণুগুলির মধ্যে বিন্যাসের কী পার্থক্য আছে। বিন্যাসের এরূপ পার্থক্যের জন্য হীরক এবং গ্রাফাইটের ভৌত ধর্মে কী পার্থক্য দেখা যায়? **(iii)** CO-এর জ্বালানি রূপে ব্যবহার আছে কিন্তু CO_2-এর ওইরকম ব্যবহার নেই কেন? **(iv)** কোন অবস্থায় CO-এর সঙ্গে জলের বিক্রিয়া ঘটে এবং কী কী পদার্থ উৎপন্ন হয়? [***H.S. '90***], **(v)** CO কী অবস্থায় NaOH-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে? উৎপন্ন পদার্থের নাম করো। **(vi)** কার্বনিক অ্যাসিডের অ্যানহাইড্রাইড কী? **(vii)** কঠিন CO_2-কে শুষ্ক বরফ বলা হয় কেন? **(viii)** পৃথিবীর চেয়ে চাঁদে গ্রাফাইট আরো ভাল লুব্রিকেন্ট রূপে কাজ করে কেন?

7. (a) পরীক্ষাগারে নাইট্রিক অ্যাসিড প্রস্তুতি বর্ণনা করো। বিক্রিয়াটি উচ্চ উষ্ণতায় ঘটানো হয় না কেন?

(b) HNO_3 প্রস্তুতিতে গাঢ় H_2SO_4-এর পরিবর্তে গাঢ় HCl ব্যবহার করা হয় না কেন? ধূমায়মান নাইট্রিক অ্যাসিড কী?

8. (a) নাইট্রিক অ্যাসিড শুধু জারণ করতে পারে—এর বিজারণ ক্ষমতা নেই—এর কারণ বুঝিয়ে দাও।

(b) প্রমাণ করো যে HNO_3 একটি শক্তিশালী জারক।

9. (a) প্রমাণ করো নাইট্রিক অ্যাসিডের মধ্যে—হাইড্রোজেন, অক্সিজেন এবং নাইট্রোজেন আছে। **(b)** অ্যামোনিয়া থেকে নাইট্রিক অক্সাইড এবং নাইট্রিক অক্সাইড থেকে NH_3 কীভাবে পাওয়া যায়? **(c)** বলয় পরীক্ষাটি বর্ণনা করো। এই পরীক্ষাটি কোন মূলক শনাক্তকরণে ব্যবহৃত হয়?

10. নীচের পদার্থগুলিকে উত্তপ্ত করলে কী হবে সমীকরণ সহ লেখো—

(i) লেড নাইট্রেট, **(ii)** সোডিয়াম বা পটাশিয়াম নাইট্রেট, **(iii)** অ্যামোনিয়াম নাইট্রেট, **(iv)** অ্যামোনিয়াম নাইট্রাইট।

11. নীচের যৌগগুলির সঙ্গে HNO_3-এর বিক্রিয়া সমীকরণ সহ লিখে দেখাও যে যৌগগুলির প্রত্যেকটি জারিত হয়।

(i) অ্যাসিড যুক্ত $FeSO_4$, **(ii)** হাইড্রোজেন সালফাইড, **(iii)** পটাশিয়াম আয়োডাইড, **(iv)** পটাশিয়াম ব্রোমাইড।

12. নীচের উক্তিগুলির যথার্থতা ব্যাখ্যা করো ঃ

(i) অ্যামোনিয়ার বিজারণ ধর্ম আছে। **(ii)** বর্ণহীন নাইট্রিক অক্সাইড বাতাসের সংস্পর্শে বাদামি বর্ণের হয়। **(iii)** লঘু নাইট্রিক অ্যাসিডের সঙ্গে Zn-এর বিক্রিয়ায় H_2 উৎপন্ন হয় না। **(iv)** NO প্রশম অক্সাইড কিন্তু O_2-এর সংস্পর্শে আম্লিক হয়। **(v)** NO_2 থেকে নাইট্রিক অ্যাসিড উৎপন্ন করা হয়। **(vi)** NH_3 গ্যাসকে P_2O_5 দ্বারা শুষ্ক করা যায় না। **(vii)** NO একটি প্রশম অক্সাইড। **(viii)** N_2O অক্সিজেনের মতো দহনে সাহায্য করে। **(ix)** অ্যামোনিয়া, ফসফিনের চেয়ে বেশি ক্ষারীয়। [***H.S. '04***] **(x)** জ্বলন্ত পাটকাঠি N_2O পূর্ণ গ্যাসজারে জ্বলতে থাকে কিন্তু NO পূর্ণ গ্যাসজারে জ্বলে না। **(xi)** অ্যামোনিয়া থেকে N_2 পাওয়া যায়। **(xii)** গাঢ় HNO_3-কে সূর্যালোকে রাখলে হলুদ হয়ে যায়। **(xiii)** নাইট্রোজেন একটি গ্যাস অথচ ফসফরাস কঠিন।

13. নীচের বিক্রিয়াগুলি কী অবস্থায় ঘটে সমীকরণসহ উল্লেখ করো ঃ

(i) ফেরিক ক্লোরাইড এবং অ্যালুমিনিয়াম ক্লোরাইড দ্রবণে পৃথকভাবে NH_4OH গ্যাস চালনা করা হল। **(ii)** জলে প্রলম্বিত চূর্ণ জিপসামের ভিতর অ্যামোনিয়া এবং CO_2 চালনা করা হল। **(iii)** সোডিয়াম নাইট্রেটের দ্রবণ, সোডিয়াম হাইড্রক্সাইড এবং জিঙ্কের গুঁড়ো একত্রে ফুটানো হল। **(iv)** উত্তপ্ত ক্যালশিয়ামের উপর দিয়ে N_2 গ্যাস চালনা করা হল। **(v)** ফেরাস সালফেট ও পটাশিয়াম নাইট্রেটের জলীয় দ্রবণ মিশ্রিত করে ওতে ঘন H_2SO_4 ঢালা হল। **(vi)** কস্টিক পটাশের গাঢ় দ্রবণে KNO_3 এবং Al চূর্ণ মিশিয়ে উত্তপ্ত করা হল। **(vii)** অ্যামোনিয়াম নাইট্রাইট, লেড নাইট্রেটকে পৃথকভাবে উত্তপ্ত করা হল। **(viii)** Zn ধাতুর সঙ্গে HNO_3-এর অতি লঘু ও শীতল জলীয়

দ্রবণের বিক্রিয়া ঘটানো হল। [*H.S. '04*] **(ix)** লোহার সঙ্গে লঘু শীতল HNO_3-এর বিক্রিয়া করান হল। **(x)** কপার সালফেট দ্রবণে অতিরিক্ত পরিমাণ অ্যামোনিয়াম জলীয় দ্রবণ যোগ করা হল। [*H.S. '03*]

14. নীচের পদার্থগুলির প্রস্তুতে শর্ত সহ রাসায়নিক সমীকরণ দাও—

(a) নাইট্রিক অ্যাসিড থেকে লাফিং গ্যাস। [*H.S. '03*] **(b)** H_2SO_4 ছাড়া অ্যামোনিয়া থেকে অ্যামোনিয়াম সালফেট। **(c)** অ্যামোনিয়া থেকে নাইট্রিক অ্যাসিড এবং HNO_3 থেকে NH_3। **(d)** অ্যামোনিয়া থেকে নাইট্রোজেন। **(e)** অ্যামোনিয়াম নাইট্রাইট থেকে অ্যামোনিয়া। **(f)** অ্যামোনিয়াম ডাইক্রোমেট থেকে নাইট্রোজেন। [*H.S. '03*] **(g)** পটাশিয়াম নাইট্রেট থেকে নাইট্রোজেন। **(h)** ক্যালশিয়াম সায়নামাইড থেকে অ্যামোনিয়া। **(i)** সোডিয়াম নাইট্রেট থেকে সোডিয়াম নাইট্রাইট। [*H.S. '04*] **(j)** ইউরিয়া থেকে NH_3 এবং NH_3 থেকে ইউরিয়া।

15. একটি সাদা কঠিনের (*A*) সঙ্গে গাঢ় HNO_3-এর বিক্রিয়ায় একটি বর্ণহীন তরল (*B*) পাওয়া গেল। *B*-কে উত্তপ্ত করে একটি তরল (*C*) পাওয়া গেল। (*C*)-কে উচ্চ উষ্ণতায় কার্বন দ্বারা বিজারিত করলে (*A*) পাওয়া যায়। *A, B, C*-কে শনাক্ত করো।

[***Ans.*** *A* = সাদা P, $B = H_3PO_4$, $C = HPO_3$]

16. একটি সাদা কঠিন (*A*) বাতাসে রাখলে আগুন ধরে যায় এবং সাদা ধোঁয়া (*B*)-এর সৃষ্টি হয়। (*B*)-কে গরম জলে দ্রবীভূত করলে (*C*) উৎপন্ন হয় বা নীল লিটমাসকে লাল করে। *A, B* এবং *C*-কে শনাক্ত করো। বিক্রিয়াগুলির সমীকরণ দাও।

[***Ans.*** $A = P$, $B = P_2O_5$, $C = H_3PO_4$]

17. রাসায়নিক পরিচয় লেখো— (i) শুষ্ক বরফ, (ii) ওয়াটার গ্যাস, (iii) নেস্‌লার বিকারক [*H. S. '04*], (iv) নাইট্রোলিম [*H. S. '04*], (v) নিষ্ক্রিয় লোহা।

[D] নৈর্ব্যক্তিক প্রশ্ন ঃ

সঠিক উত্তরটি বা উত্তরগুলি নির্বাচন করো ঃ

1. ডায়মন্ডে রাসায়নিক বন্ধন হল—**(a)** আয়নীয়, **(b)** সমযোজী, **(c)** অসমযোজী, **(d)** ধাতব বন্ধন। [***Ans.*** (b)]

2. লেড পেনসিলের মধ্যে থাকে—**(a)** Pb, **(b)** FeS, **(c)** গ্রাফাইট, **(d)** PbS. [***Ans.*** (c)]

3. তড়িৎ পরিবহন করতে পারে—**(a)** ডায়মন্ড, **(b)** গ্রাফাইট, **(c)** সিলিকা, **(d)** কার্বোরান্ডাম। [***Ans.*** (b)]

4. নিউক্লীয় রিএক্টারে গ্রাফাইট ব্যবহৃত হয়—**(a)** লুব্রিকেন্ট হিসাবে, **(b)** নিউট্রনের বেগ কমাতে, **(c)** ইনসুলেটর হিসাবে রিএক্ট্যারের গায়ে প্রলেপ দিতে, **(d)** জ্বালানি হিসাবে। [***Ans.*** (b)]

5. কাঠকয়লা গ্যাস মুখোশ রূপে ব্যবহৃত হয় কারণ—**(a)** এটি গ্যাসগুলিকে অক্ষতিকারক পদার্থে পরিণত করে, **(b)** গ্যাসগুলিকে অধিশোষণ করে, **(c)** বিষাক্ত গ্যাসকে জারিত করে, **(d)** তিনটির কোনোটি নয়। [***Ans.*** (b)]

6. ওয়াটার গ্যাস হল—**(a)** অতিরিক্ত CO এবং H_2-এর মিশ্রণ, **(b)** অতিরিক্ত H_2 এবং CO-এর মিশ্রণ, **(c)** সমআয়তন CO এবং H_2-এর মিশ্রণ, **(d)** কোনো নির্দিষ্ট পরিমাণ নেই। [***Ans.*** (c)]

7. O_2 দ্বারা নাইট্রিক অক্সাইডের জারণে উৎপন্ন হয়— **(a)** N_2O_5, **(b)** N_2O_4, **(c)** NO_2, **(d)** N_2O_3. [***Ans.*** (c)]

8. নীচের গ্যাসগুলির কোনটির বর্ণ আছে? **(a)** NO, **(b)** N_2O, **(c)** SO_2, **(d)** কোনটি নয়। [***Ans.*** (d)]

9. প্রদত্ত নাইট্রোজেন ট্রাই হ্যালাইডগুলির মধ্যে কোনটি সবচেয়ে কম ক্ষারীয়? **(a)** NF_3, **(b)** NCl_3, **(c)** NBr_3, **(d)** NI_3.

[***Ans.*** (a)]

10. প্রদত্ত হাইড্রাইডগুলির মধ্যে কোনটি সর্বাধিক ক্ষারীয়? **(a)** AsH_3, **(b)** NH_3, **(c)** PH_3, **(d)** SbH_3. [***Ans.*** (b)]

11. কোন ধাতুগুলি লঘু HNO_3এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় হাইড্রোজেন দেয়? **(a)** Sn, **(b)** Mg, **(c)** Hg, **(d)** Mn. [***Ans.*** (b), (d)]

12. কোন বক্তব্যটি ভুল? **(a)** NO অক্সিজেনের চেয়ে ভারী, **(b)** ভারী জলের ফর্মুলা H_2O, **(c)** কোন ছিদ্রের মধ্য দিয়ে N_2, O_2-এর চেয়ে দ্রুত ব্যাপিত হয়, **(d)** NH_3 হিমায়ক রূপে ব্যবহৃত হয়। [***Ans.*** (a), (b)]

13. লাল ফসফরাস থেকে সাদা ফসফরাসকে দূর করা যায়— **(a)** ঊর্ধ্বপাতন দ্বারা, **(b)** পাতন করে, **(c)** CS_2-তে দ্রবীভূত করে, **(d)** তীব্র ক্ষারীয় দ্রবণে উত্তপ্ত করে।

[***Ans.*** (c), (d)]

14. উত্তম তড়িৎ পরিবাহী হল—**(a)** হলুদ P, **(b)** লাল P, **(c)** বেগুনি P, **(d)** কালো P. [***Ans.*** (d)]

15. সাদা ফসফরাসের সঙ্গে কস্টিক সোডার বিক্রিয়াটি হল— **(a)** জারণ বিক্রিয়া, **(b)** বিজারণ বিক্রিয়া, **(c)** জারণ-বিজারণ বিক্রিয়া, **(d)** প্রশমন।

[***Ans.*** (c)]

16. কোন বক্তব্যটি ভুল— **(a)** শ্বেত P, লাল P-এর চেয়ে হাল্কা, **(b)** শ্বেত P বিষাক্ত নয়, **(c)** সাদা P দুঃস্থিত কিন্তু লাল P সুস্থিত, **(d)** শ্বেত এবং লাল P উভয় সাধারণ উষ্ণতায় ক্লোরিনের সঙ্গে বিক্রিয়া করে। [***Ans.*** (d)]

17. কোনটি দ্বিক্ষারিক অ্যাসিড— **(a)** ফসফরাস অ্যাসিড, **(b)** হাইপো ফসফরাস, **(c)** ফসফরিক অ্যাসিড, **(d)** হাইপো ফসফরিক অ্যাসিড। [***Ans.*** (a)]

● অক্সিজেন ●

পারমাণবিক সংখ্যা—8,	পারমাণবিক ভর—16,	জারণ সংখ্যা—(–2) (–1) (+2)
ইলেকট্রন বিন্যাস—$1s^2 2s^2 2p_x^2 2p_y^1 2p_z^1$		পর্যায়-সারণিতে স্থান—Gr VIB বা 16

সুইডিস বিজ্ঞানী **শিলে** সর্বপ্রথম 1772 সালে মারকিউরিক অক্সাইডকে উত্তপ্ত করে অক্সিজেন প্রস্তুত করেন এবং এর নাম দেন 'আগুন বাতাস' ('fire air')। এর পরই 1774 সালে ইংরেজ বিজ্ঞানী **প্রিস্টলি** এই গ্যাসটি তৈরি করেন। বিজ্ঞানী **ল্যাভয়সিয়ে** গ্যাসটি যে একটি মৌলিক পদার্থ তা প্রমাণ করেন।

1.26. অক্সিজেন গ্যাসের প্রকৃতির মধ্যে অবস্থান [Occurrence of oxygen in nature]

অক্সিজেন গ্যাসকে মুক্ত অবস্থায় এবং যৌগ অবস্থায় প্রকৃতির মধ্যে পাওয়া যায়। **মুক্ত অবস্থায়** বায়ুমণ্ডলের মধ্যে আয়তন হিসাবে 21% এবং ওজন হিসাবে 23% অক্সিজেন মুক্ত অবস্থায় অবস্থান করে। জলে ওজন হিসাবে 89% অক্সিজেন হাইড্রোজেনের সঙ্গে যৌগ রূপে অবস্থান করে। চর্বি, ভিটামিন, হরমোন, শর্করা ইত্যাদি জৈব যৌগের অন্যতম গুরুত্বপূর্ণ উপাদান হল অক্সিজেন। এছাড়া অধিকাংশ খনিজ পদার্থে যুক্ত অবস্থায় অক্সিজেন বর্তমান। মৃত্তিকার অন্যতম উপাদান হল অক্সিজেন। মৃত্তিকার মধ্যে অক্সিজেন প্রধানত সিলিকেট, অ্যালুমিনেট, কার্বনেট এবং অক্সাইড রূপে উপস্থিত থাকে। অন্যান্য খনিজ পদার্থ যার মধ্যে অক্সিজেন বর্তমান আছে তার উদাহরণ—বক্সাইট (Al_2O_3, $2H_2O$), মার্বেল ($CaCO_3$), জিপসাম ($CaSO_4$, $2H_2O$) ইত্যাদি। বায়ুমণ্ডলে উপস্থিত অক্সিজেনের বেশির ভাগই সবুজ গাছের সালোকসংশ্লেষ প্রণালী দ্বারা প্রাপ্ত।

● **অক্সিজেনের আইসোটোপ ঃ** প্রকৃতির মধ্যে প্রাপ্ত অক্সিজেনের আইসোটোপগুলি হল ${}_8O^{16}$ (99·76%), ${}_8O^{17}$ (0·038%) এবং ${}_8O^{18}$ (0·2%)। এই আইসোটোপগুলির মধ্যে ${}_8O^{18}$ আইসোটোপটি হল তেজস্ক্রিয়।

1.27. অক্সিজেন গ্যাসের বহুরূপতা [Allotrophy of oxygen]

অক্সিজেনের বহুরূপতা ধর্ম আছে। ওজোন (O_3) হল অক্সিজেনের রূপভেদ। ওজোন এবং অক্সিজেন একই মৌলিক পদার্থের দুটি ভিন্ন রূপ। সমযোজ্যতার দ্বারা 2টি অক্সিজেন পরমাণু পরস্পর যুক্ত হয়ে অক্সিজেনের অণু গঠন করে। এর সংকেত O_2। ওজোন ত্রি-পরমাণুক—3টি O পরমাণু দ্বারা ওজোনের অণু গঠিত হয়। এর সংকেত O_3। পরমাণুর সংখ্যার পার্থক্যের জন্য ওদের ভৌত ও রাসায়নিক ধর্মের পার্থক্য হয়।

1.28. প্রাকৃতিক উৎস থেকে অক্সিজেন প্রস্তুতি [Isolation of oxygen from natural sources]

অক্সিজেনের প্রাকৃতিক উৎসের মধ্যে প্রধান দুটি উৎস হল—**(1) বায়ু** এবং **(2) জল**।

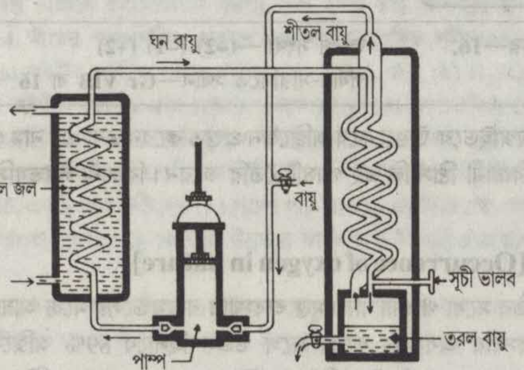
(1) বায়ু থেকে অক্সিজেন ঃ লিন্ডের পদ্ধতি (Linde's process) ঃ বায়ু প্রধানত N_2 এবং O_2-এর মিশ্রণ। যেহেতু তরল O_2-এর চেয়ে তরল N_2 বেশি উদ্বায়ী, সুতরাং তরল বায়ুর আংশিক পাতন করে এই দুই গ্যাসকে পৃথক করা যায়।

● **নীতি ঃ এই পদ্ধতিতে জুল-টমসন ক্রিয়ার উপর ভিত্তি করে রুদ্ধতাপ সম্প্রসারণের মাধ্যমে বায়ুকে তরলে পরিণত করা হয়। জুল-টমসন ক্রিয়াটি হল—উচ্চচাপে থাকা অবস্থায় কোনো গ্যাসকে সরু ছিদ্রপথে রুদ্ধতাপ প্রক্রিয়ায় নিম্নচাপ অঞ্চলে হঠাৎ প্রসারিত হতে দিলে গ্যাসটির উষ্ণতা অনেক কমে যায়।**

এর কারণ হল উচ্চচাপে থাকা অবস্থায় গ্যাসের অণুগুলি কাছাকাছি অবস্থান করে। এখন খুব উচ্চ চাপে থাকা (200 atm) বায়ুকে নিম্নচাপ অঞ্চলে হঠাৎ প্রসারিত করলে, নিম্নচাপ অঞ্চলে এলে গ্যাসটির অণুগুলির মধ্যে পারস্পরিক গড় দূরত্ব বৃদ্ধি করার জন্য যে শক্তির প্রয়োজন হয়, সেই শক্তি গ্যাসটি নিজদেহ থেকে সরবরাহ করে, ফলে গ্যাসটির উষ্ণতা অনেক কমে যায়।

● **পদ্ধতি ঃ** ধূলিকণা মুক্ত বায়ুকে প্রথমে NaOH দ্রবণ ও পরে গাঢ় H_2SO_4-এর মধ্যে চালনা করে বায়ুর মধ্যস্থ কার্বন ডাইঅক্সাইড ও জলীয় বাষ্প দূর করে অতিরিক্ত চাপ প্রয়োগে বায়ুকে ক্রমাগত শীতল করা হয়। তারপর সরু নলের মধ্য দিয়ে বায়ুকে হঠাৎ অতিরিক্ত চাপ থেকে কম চাপে প্রসারিত করা হয়। এর ফলে বায়ুর উষ্ণতা খুব কমে যায় **(জুল-টমসন প্রক্রিয়া)**। বার বার এই প্রক্রিয়া সম্পাদন করার ফলে বায়ুর উষ্ণতা যখন –190°C-এর নীচে পৌঁছায়, তখন বায়ু তরল হতে শুরু করে। তরল বায়ুর মধ্যে নাইট্রোজেন ও অক্সিজেন মিশ্রিত থাকে। নাইট্রোজেনের স্ফুটনাঙ্ক –190°C এবং অক্সিজেনের স্ফুটনাঙ্ক –183°C।

কাজেই অক্সিজেনের চেয়ে নাইট্রোজেন বেশি উদ্‌বায়ী হওয়ায়, তরল বায়ুর আংশিক পাতন করলে প্রথমে নাইট্রোজেন গ্যাস বেরিয়ে যায়, পাতন ফ্লাস্কে অক্সিজেনের পরিমাণও বাড়তে থাকে। বার বার আংশিক পাতন করে প্রায় নাইট্রোজেনমুক্ত অক্সিজেন পাওয়া যায়।



চিত্র 1.13 : বায়ু থেকে অক্সিজেন প্রস্তুতি

● **বায়ু থেকে অক্সিজেন প্রস্তুতি : ব্রীন প্রণালীতে** (Brin's process) **বায়ু থেকে অক্সিজেন পাওয়া যায়। বেরিয়াম অক্সাইডকে বায়ুর মধ্যে** 500ºC উষ্ণতায় উত্তপ্ত করলে বায়ুর অক্সিজেন শোষণ করে বেরিয়াম পারক্সাইডে পরিণত হয়। উৎপন্ন বেরিয়াম পারক্সাইডকে 800ºC উষ্ণতায় উত্তপ্ত করলে, বেরিয়াম পারক্সাইড বিশ্লিষ্ট হয়ে অক্সিজেন উৎপন্ন করে। অক্সিজেন প্রস্তুতির এই পদ্ধতিকে **ব্রীন প্রণালী** বলে।

$$2BaO + O_2 \rightleftharpoons 2BaO_2 \text{ (প্রায় 500ºC উষ্ণতায়)}$$
$$2BaO_2 = 2BaO + O_2\uparrow \text{ (প্রায় 800ºC উষ্ণতায়)}$$

(2) জল থেকে অক্সিজেন প্রস্তুতি :

(a) জলের তড়িদ্‌বিশ্লেষণে : সামান্য আম্লিক বা ক্ষারীয় জলকে আয়রন কিংবা নিকেল তড়িদ্দ্বারের সাহায্যে তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করলে জল বিশ্লিষ্ট হয়ে হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন গ্যাস উৎপন্ন হয়। অক্সিজেন গ্যাস অ্যানোডে জমা হয়।

$$H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$$
ক্যাথোডে : $2H^+ + 2e = H_2\uparrow$
অ্যানোডে : $2OH^- - 2e = 2OH$
$$4OH = 2H_2O + O_2\uparrow$$



চিত্র 1.14 : জলের তড়িদ্‌বিশ্লেষণে অক্সিজেন প্রস্তুতি

(b) স্টিম এবং ক্লোরিন গ্যাসের মিশ্রণকে উত্তপ্ত ঝামা পাথরের উপর দিয়ে চালনা করলে অক্সিজেন ও হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়। এই গ্যাস মিশ্রণকে জলের মধ্যে চালনা করে HCl মুক্ত করা হয়।

$$2H_2O + 2Cl_2 = 4HCl + O_2$$

এছাড়া নীচের কতকগুলি অক্সিজেন ঘটিত যৌগ থেকে তাপ প্রয়োগে O_2 পাওয়া যায়।

(1) ক্ষার ধাতু এবং ভারী ধাতু নাইট্রেটকে উত্তপ্ত করে—

$$2NaNO_3 = 2NaNO_2 + O_2\uparrow\ ;\quad 2Pb(NO_3)_2 = 2PbO + 4NO_2 + O_2\uparrow$$

(2) অক্সি অ্যাসিডের তাপ বিয়োজনে—

$$4HNO_3 = 2H_2O + 4NO_2 + O_2\ ;\quad 2H_2SO_4 = 2H_2O + 2SO_2 + O_2$$

(3) অক্সিজেন বহুল যৌগের তাপ বিয়োজনে—

$$2KMnO_4 = K_2MnO_4 + MnO_2 + O_2$$
$$4K_2Cr_2O_7 = 4K_2CrO_4 + 2Cr_2O_3 + 3O_2$$
$$2Pb_3O_4 = 6PbO + O_2$$

সাধারণ উষ্ণতায় সোডিয়াম বা পটাশিয়াম পারক্সাইডের সঙ্গে জলের বিক্রিয়ায় O_2 পাওয়া যায়।

$$2Na_2O_2 + 2H_2O = 4NaOH + O_2\uparrow$$

1.29. অক্সিজেনের ধর্ম [Properties of oxygen]

[A] ভৌত ধর্ম : (i) সাধারণ উষ্ণতায় অক্সিজেন বর্ণহীন, গন্ধহীন, স্বাদহীন গ্যাস। **(ii)** গ্যাসীয় অক্সিজেনকে তরলে পরিণত করলে তরল অক্সিজেনের বর্ণ নীল বর্ণের হয়। **(iii)** অক্সিজেন জলে সামান্য দ্রাব্য—S.T.P.-তে দ্রাব্যতা 48·9 মিলি/লিটার। জলে দ্রবীভূত এই অক্সিজেন দ্বারা জলচর প্রাণীরা শ্বাসকার্য চালায়।

[B] রাসায়নিক ধর্ম এবং সক্রিয়তা ঃ

অক্সিজেনের বন্ধন বিয়োজন শক্তি অনেক বেশি, তাই বিক্রিয়া আরম্ভ করার জন্য বাইরে থেকে তাপ প্রয়োগের প্রয়োজন হয়। তবে একবার বিক্রিয়া আরম্ভ হলে পর, যেহেতু বিক্রিয়াগুলি তাপযোজী তাই বাইরে থেকে আর তাপ প্রয়োগের প্রয়োজন হয় না।

এখানে অক্সিজেনের কতকগুলি গুরুত্বপূর্ণ বিক্রিয়াগুলির আলোচনা করা হল—

(1) দহনশীলতা ঃ O_2 দাহ্য নয় কিন্তু দহনে সাহায্য করে। বেশির ভাগ ক্ষেত্রে ধাতু বা অধাতুর সঙ্গো অক্সিজেনের যুক্ত হওয়ার সময় তাপ এবং আলো উৎপন্ন হয়—এইরকম বিক্রিয়াকে দহন বলে। দহনে দাহ্য পদার্থগুলি O_2-এর সঙ্গো যুক্ত হয়ে জারিত হয়।

(2) অধাতুর সাথে বিক্রিয়া ঃ (a) আম্লিক অক্সাইড গঠন—কার্বন, সালফার, ফসফরাস প্রভৃতি অধাতুকে বায়ুর মধ্যে আগুন ধরিয়ে দিলে ওইগুলি জ্বলে উঠে এবং বাতাসের অক্সিজেন দ্বারা জারিত হয়ে **আম্লিক অক্সাইড** উৎপন্ন করে। এই জাতীয় অক্সাইড যদি জলে দ্রবীভূত হয়, তবে অ্যাসিড উৎপন্ন করে এবং ক্ষারের সঙ্গো বিক্রিয়া করে লবণ ও জল উৎপন্ন করে।

$$C + O_2 = CO_2, \qquad CO_2 + H_2O = H_2CO_3 \text{ (কার্বনিক অ্যাসিড)}$$
$$S + O_2 = SO_2, \qquad SO_2 + H_2O = H_2SO_3 \text{ (সালফিউরাস অ্যাসিড)}$$
$$4P + 5O_2 = 2P_2O_5, \qquad P_2O_5 + 3H_2O = 2H_3PO_4 \text{ (অর্থোফসফরিক অ্যাসিড)}$$

(b) প্রশম অক্সাইড গঠন—বিদ্যুৎ-স্ফুলিঙ্গের উপস্থিতিতে 3000°C **উষ্ণতায় নাইট্রোজেনের সঙ্গো অক্সিজেন যুক্ত হয়ে নাইট্রিক অক্সাইড উৎপন্ন করে।** $N_2 + O_2 = 2NO$— তাপ

হাইড্রোজেন, অক্সিজেনের মধ্যে নীল শিখায় জ্বলে জল উৎপন্ন করে। $2H_2 + O_2 = 2H_2O$

ক্লোরিন, ব্রোমিন, আয়োডিন প্রভৃতি অধাতুর সঙ্গো অক্সিজেন সরাসরি যুক্ত হতে পারে না।

(3) ধাতুর সঙ্গো বিক্রিয়া—(i) ক্ষারকীয় অক্সাইড গঠন—(a) সোডিয়াম, পটাশিয়াম, ক্যালশিয়াম প্রভৃতি ক্ষার এবং ক্ষারীয় মৃত্তিকা ধাতুগুলি বাতাসের সংস্পর্শেই অক্সিজেন দ্বারা জারিত হয়ে ক্ষারকীয় অক্সাইড উৎপন্ন করে। এই জাতীয় অক্সাইড জলে দ্রবীভূত হলে ক্ষার উৎপন্ন করে।

$$4Na + O_2 = 2Na_2O; \qquad Na_2O + H_2O = 2NaOH \text{ (ক্ষার)}$$
$$2Ca + O_2 = 2CaO; \qquad CaO + H_2O = Ca(OH)_2 \text{ (ক্ষার)}$$

(b) জ্বলন্ত ম্যাগনেশিয়াম অক্সিজেনের মধ্যে তীব্র রশ্মি উৎপন্ন করে জ্বলতে থাকে এবং অক্সিজেনের সঙ্গো যুক্ত হয়ে সাদা রং-এর **ম্যাগনেশিয়াম অক্সাইড** উৎপন্ন করে। $2Mg + O_2 = 2MgO$

(c) লোহিততপ্ত আয়রনকে অক্সিজেনের মধ্যে প্রবেশ করালে অগ্নিস্ফুলিঙ্গ সৃষ্টির মাধ্যমে আরো উজ্জ্বল হয়ে জ্বলতে থাকে এবং বিক্রিয়ার ফলে **ফেরোসোফেরিক অক্সাইড** উৎপন্ন হয়। $2Fe + 2O_2 = Fe_3O_4$

(d) কপার, সিলভার প্রভৃতি ধাতুগুলিকে অক্সিজেনের সংস্পর্শে উত্তপ্ত করলে ধাতুগুলি ধীরে ধীরে অক্সাইডে পরিণত হয়।

$$2Cu + O_2 = 2CuO \qquad 4Ag + O_2 = 2Ag_2O$$

(ii) উভধর্মী অক্সাইড গঠন (Amphoteric oxides) ঃ Al, Zn, Sn, Pb প্রভৃতি ধাতুর সঙ্গো অক্সিজেন যুক্ত হয়ে উভধর্মী অক্সাইড গঠন করে। এই জাতীয় অক্সাইড অ্যাসিড এবং ক্ষার উভয়ের সঙ্গো বিক্রিয়া করে লবণ ও জল উৎপন্ন করে।

$$4Al + 3O_2 = 2Al_2O_3; \qquad 2Zn + O_2 = 2ZnO;$$
$$Sn + O_2 = SnO_2; \qquad 2Pb + O_2 = 2PbO$$

(iii) পারক্সাইড গঠন ঃ অতিরিক্ত অক্সিজেনের সঙ্গো Na অথবা K জ্বলন্ত অবস্থায় 300°C উষ্ণতায় বিক্রিয়া করে **পারক্সাইড** যৌগ উৎপন্ন করে। $2Na + O_2 = Na_2O_2$

প্ল্যাটিনাম, গোল্ড প্রভৃতি ধাতুর অক্সিজেন সোজাসুজি যুক্ত হয়ে যৌগ গঠন করতে পারে না।

(4) জারণ ক্রিয়া (Oxidising property) **ঃ যৌগের সঙ্গো বিক্রিয়া—(i)** সাধারণ উষ্ণতায় বর্ণহীন **নাইট্রিক অক্সাইড** অক্সিজেনের সংস্পর্শে জারিত হয়ে **বাদামি রং-এর নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইড** উৎপন্ন হয়।

$$2\overset{+2}{N}O + O_2 + 2\overset{+4}{N}O_2$$

(ii) বিভিন্ন অনুঘটকের উপস্থিতিতে অক্সিজেনের সক্রিয়তা বাড়ে, ফলে নানা যৌগ জারিত হয়। যেমন, সালফার ডাইঅক্সাইড, ভ্যানাডিয়াম পেন্টোক্সাইড (V_2O_5) অথবা **প্ল্যাটিনাম অ্যাসবেস্টস অনুঘটকের উপস্থিতিতে** 450°C উষ্ণতায় অক্সিজেন দ্বারা জারিত হয়ে **সালফার ট্রাই-অক্সাইড** উৎপন্ন করে। বিক্রিয়াটি তাপ-উৎপাদক।

$$2\overset{+4}{S}O_2 + O_2 + 2\overset{+6}{S}O_3 + \text{তাপ}$$

(iii) অ্যামোনিয়া 700ºC উষ্ণতায় প্ল্যাটিনাম অনুঘটকের উপস্থিতিতে বাতাসের O_2 দ্বারা জারিত হয়ে **নাইট্রিক অক্সাইড** উৎপন্ন করে।

$$4\overset{-3}{N}H_3 + 5O_2 + 4\overset{+2}{N}O + 2H_2O$$

(iv) 'আস' লবণ ('Ous' salts) অক্সিজেন দ্বারা জারিত হয়ে 'ইক' লবণ ('Ic' salts) উৎপন্ন করে। যেমন, অ্যাসিডযুক্ত ফেরাস, স্ট্যানাস, কিউপ্রাস প্রভৃতি লবণ যথাক্রমে ফেরিক, স্ট্যানিক, কিউপ্রিক প্রভৃতি লবণে পরিণত হয়।

$$4\overset{+2}{Fe}SO_4 + 2H_2SO_4 + O_2 = 2\overset{+3}{Fe}(SO_4)_3 + 2H_2O$$
$$4\overset{+2}{Fe}Cl_2 + 4HCl + O_2 = 4\overset{+3}{Fe}Cl_3 + 2H_2O$$
$$2\overset{+2}{S}nCl_2 + 4HCl + O_2 = 2\overset{+4}{S}nCl_4 + 2H_2O$$

(v) সালফিউরাস অ্যাসিড অক্সিজেন দ্বারা জারিত হয়ে সালফিউরিক অ্যাসিডে পরিণত হয়।

$$2H_2\overset{+4}{S}O_3 + O_2 + 2H_2\overset{+6}{S}O_4$$

(vi) 430ºC উষ্ণতায় $CuCl_2$ অনুঘটকের উপস্থিতিতে হাইড্রোজেন ক্লোরাইড O_2 দ্বারা জারিত হয়ে Cl_2-তে পরিণত হয়।

$$4HCl + O_2 \xrightarrow[430^\circ C]{CuCl_2} Cl_2 + 2H_2O$$

(vii) কার্বন ডাইসালফাইড অক্সিজেনের মধ্যে জ্বলে ওঠে এবং জারিত হয়ে CO_2 এবং SO_2-তে পরিণত হয়।

$$CS_2 + 3O_2 = CO_2 + 2SO_2$$

● **অক্সিজেনের বিজারণ ক্রিয়া ঃ** অক্সিজেনের সঙ্গে ফ্লুওরিনের বিক্রিয়ায় ফ্লুওরিন মনোক্সাইড উৎপন্ন হয়। $2Fe + O_2 = 2OF_2$. যেহেতু অক্সিজেনের চেয়ে ফ্লুওরিন আরো বেশি ইলেকট্রোনেগেটিভ, তাই এই বিক্রিয়ার সময় ফ্লুওরিন পরমাণু অক্সিজেন পরমাণু থেকে ইলেকট্রন গ্রহণ করে। ফ্লুওরিন পরমাণু এইভাবে অক্সিজেন পরমাণু থেকে ইলেকট্রন গ্রহণ করে বিজারিত হয় এবং অপর দিকে অক্সিজেন ফ্লুওরিনকে ইলেকট্রন দান করে নিজে জারিত হয়। সুতরাং দেখা গেল অক্সিজেন ফ্লুওরিনকে বিজারিত করে OF_2-তে পরিণত করে। $2F + 2e \rightarrow 2F^-$, $O - 2e \rightarrow O^{2+}$, $O^{2+} + 2F^- \rightarrow OF_2$

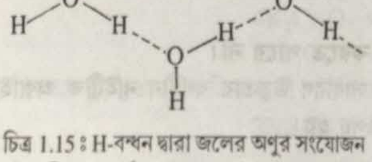
● **অক্সিজেনের ব্যবহার ঃ**

(1) **অক্সি-হাইড্রোজেন শিখা** বিভিন্ন ধাতু গলাতে ব্যবহৃত হয়। **অক্সি-অ্যাসিটিলিন শিখার উষ্ণতা 3000ºC;** এই শিখাকে ঝালাইয়ের কাজে ব্যবহার করা হয়। এই শিখা মোটা পুরু লোহার পাতকে অনায়াসে কাটতে পারে। (2) সালফিউরিক অ্যাসিড ও নাইট্রিক অ্যাসিডের শিল্প-উৎপাদনে অক্সিজেন ব্যবহৃত হয়। (3) প্রাণীজগতের অস্তিত্বের মূলে আছে অক্সিজেন। অক্সিজেন শ্বাসকার্যে সাহায্য করে। (4) জলের নীচে ডুবুরীদের জন্য (O_2 এবং He-এর মিশ্রণ), উড়োজাহাজের চালক ও যাত্রীদের জন্য এবং মরণাপন্ন রোগীর শ্বাসকষ্টের সময় কৃত্রিম উপায়ে অক্সিজেন সরবরাহ করা হয়।

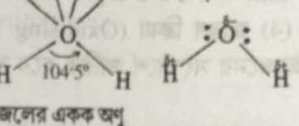
● জল ●

1.30. জলের অস্বাভাবিক ধর্ম [Abnormal properties of water]

পর্যায় সারণির 16 গ্রুপে অপর যে সব মৌলগুলি বর্তমান (S, Se, Te ইত্যাদি) সেই মৌলগুলির হাইড্রাইডের সঙ্গে অক্সিজেনের হাইড্রাইড অনেক পার্থক্য লক্ষ্য করা যায়। সাধারণ উষ্ণতায় ও চাপে **জল গন্ধহীন তরল** অথচ অন্যান্য মৌলের হাইড্রাইড **দুর্গন্ধযুক্ত গ্যাস**। জলের **আপেক্ষিক তাপ, গলনাঙ্ক, স্ফুটনাঙ্ক, লীন তাপ** ওই শ্রেণির অন্যান্য **হাইড্রাইডের চেয়ে অনেক বেশি**। জল কঠিন হলে আয়তনে বাড়ে। জলের এইসব অস্বাভাবিক ধর্মের কারণ হল জলের অণুগুলি হাইড্রোজেন বন্ধন দ্বারা যুক্ত হয়ে সংযোজিত অবস্থায় থাকে। জলের অণুর প্রতিটি O পরমাণু তার দুটি নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগলের মাধ্যমে দুটি H-বন্ধন সৃষ্টি করতে পারে। এই হাইড্রোজেন বন্ধনগুলিকে ভেঙে জলের অণুগুলিকে পৃথক করতে অনেক বেশি তাপশক্তির দরকার হয়, তাই জলের গলনাঙ্ক এবং স্ফুটনাঙ্ক বেশি হয়।



চিত্র 1.15 ঃ H-বন্ধন দ্বারা জলের অণুর সংযোজন

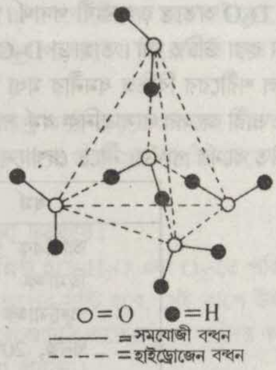


জলের একক অণু

চিত্র 1.16 ঃ জলের অণুর গঠন

জলের অণুর গঠন একরেখীয় নয়। দুটি H পরমাণু একটি অক্সিজেন পরমাণুর সঙ্গে 104º50′ কোণ করে আবদ্ধ থাকে।

● **বরফের গঠন** (Structure of ice) ঃ জল কঠিন হলে বরফ হয়। বরফের কেলাসকে অতিকায় অণু বলে ধরা যেতে পারে; যার মধ্যে প্রত্যেকটি H_2O অণু পরস্পরের সঙ্গে হাইড্রোজেন বন্ধন দ্বারা যুক্ত থেকে চতুঃস্তলকীয় আকারে আবদ্ধ থাকে। বরফের এক্স রশ্মি বিশ্লেষণে দেখা গেছে যে প্রতিটি H_2O অণুর O পরমাণুটি 4টি H পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত থাকে। এর মধ্যে 2টি হাইড্রোজেন পরমাণু সমযোজী বন্ধন দ্বারা এবং বাকি 2টি H পরমাণু H-বন্ধন দ্বারা O পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত থাকে। চতুঃস্তলকগুলি পরস্পর যুক্ত হয়ে বরফের কেলাস গঠন করে। এই চতুঃস্তলকীয় আকারের মধ্যে অনেক ফাঁকা জায়গা থেকে যায়, তাই জলের চেয়ে বরফের ঘনত্ব কম এবং বরফ জলে ভাসে। বরফকে উত্তপ্ত করলে অর্থাৎ 0°C-এর বেশি উষ্ণতায় আনলে এই হাইড্রোজেন বন্ধনগুলি ভেঙ্গে যায় এবং অণুগুলি পরস্পরের কাছে চলে আসে, ফলে ঘনত্ব বেড়ে যায় এবং আয়তন কমে যায়। 4°C উষ্ণতায় অণুগুলি সবচেয়ে কাছাকাছি আসে। 4°C-এর বেশি উষ্ণতায় অন্যান্য তরলের মতো জলের আয়তন বাড়তে থাকে, ফলে ঘনত্ব কমতে থাকে। তাই 4°C উষ্ণতায় জলের ঘনত্ব সবচেয়ে বেশি।



চিত্র 1.17 ঃ বরফ কেলাসের গঠন

1.31. ডয়টেরিয়াম অক্সাইড বা ভারী জল [Deuterium Oxide or Heavy Water]

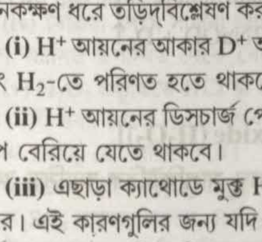
সাধারণ হাইড্রোজেনের সঙ্গে অক্সিজেনের বিক্রিয়ায় যে জল উৎপন্ন হয় তাকে সাধারণ জল H_2O বলে। **হাইড্রোজেনের আইসোটোপ ভারী হাইড্রোজেন বা ডয়টেরিয়ামের ($_1H^2$) সঙ্গে অক্সিজেনের ($_8O^{16}$) বিক্রিয়ায় যে যৌগ উৎপন্ন হয় তাকে ভারী জল বা ডয়টেরিয়াম অক্সাইড (D_2O) বলে।** সাধারণ জলে খুব সামান্য পরিমাণ ভারী জল থাকে (প্রায় 6000 ভাগে 1 ভাগ)। ভারী জল দুই ভাবে প্রস্তুত করা যায়—**(i) ক্ষারীয় জলকে অনেক সময় ধরে তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করে এবং (ii) আংশিক পাতন প্রক্রিয়া দ্বারা।**

(1) ক্ষারীয় সাধারণ জলকে অনেক সময় ধরে তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করে (By exhaustive electrolysis of ordinary water) ঃ এই পদ্ধতিটির নীতি হল—সাধারণ জলের মধ্যে ভারী জল থাকে প্রায় 6000 ভাগের 1 ভাগ মাত্র। সাধারণ জলের অনেকক্ষণ ধরে তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করলে প্রোটিয়াম বা সাধারণ হাইড্রোজেন অনেক বেশি পরিমাণে বেরিয়ে যেতে থাকবে। কারণ—

(i) H^+ আয়নের আকার D^+ আয়নের চেয়ে ছোটো বলে, H^+ আয়নগুলি D^+ আয়নের চেয়ে বেশি গতিতে ইলেকট্রোডে যাবে এবং H_2-তে পরিণত হতে থাকবে।

(ii) H^+ আয়নের ডিসচার্জ পোটেনসিয়েল কম বলে D^+ আয়নগুলির চেয়ে খুব সহজেই ক্যাথোডে ইলেকট্রন গ্রহণ করে H_2 রূপে বেরিয়ে যেতে থাকবে।

(iii) এছাড়া ক্যাথোডে মুক্ত H পরমাণুগুলি ডয়টেরিয়াম পরমাণুর চেয়ে সহজে পরস্পর যুক্ত হয়ে H_2 অণুতে পরিণত হতে পারে। এই কারণগুলির জন্য যদি সাধারণ জলের ক্রমাগত তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করে যাওয়া হয় তাহলে জল থেকে প্রোটিয়াম আয়ন অর্থাৎ H^+ আয়নগুলি বেরিয়ে যাওয়ার ফলে জলের মধ্যে ডয়টেরিয়ামের গাঢ়ত্ব ক্রমে বৃদ্ধি পেতে থাকে। এইভাবে তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করে যেতে থাকলে শেষে অবশিষ্ট জলের আয়তন অনেক কমে যায়; তখন পাত্রের থাকা অবশেষের মধ্যে পড়ে থাকে প্রায় বিশুদ্ধ D_2O বা ভারী জল। প্রায় 20000 লিটার জল তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করতে করতে শেষে অবশিষ্ট জলের আয়তন 1 লিটারে দাঁড়ায়। সেই জলে প্রায় 99% বিশুদ্ধ D_2O থাকে।



চিত্র 1.18 ঃ ভারী জল প্রস্তুতি

যে তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করার সেলে ডয়টেরিয়াম প্রস্তুত করা হয় তা চিত্রে দেখানো হল। স্টিলের সেলটি ক্যাথোড রূপে কাজ করে। অ্যানোডটি হল দণ্ডের আকারে একটি নিকেলের পাত, যার মধ্যে বহুসংখ্যক ছিদ্র থাকে। এইরকম বহুসংখ্যক সেল ব্যবহার করা হয়। শেষ স্তরে যে 99% D_2O থাকে তার তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করে ক্যাথোডে যে D_2 এবং অ্যানোডে যে O_2 পাওয়া যায়, এই দুই গ্যাসকে সংগ্রহ করে দহন করলে বিশুদ্ধ D_2O পাওয়া যায়।

(2) আংশিক পাতন প্রক্রিয়ার দ্বারা—প্রমাণ চাপে সাধারণ জলের স্ফুটনাঙ্ক 100°C এবং ভারী জলের স্ফুটনাঙ্ক 101·42°C. স্ফুটনাঙ্কের এই সামান্য পার্থক্যের উপর ভিত্তি করেই জলের আংশিক পাতন করা হয়। এই আংশিক পাতনে ব্যবহৃত অংশীকরণ স্তম্ভটি (fractionating column) প্রায় 12 মিটার লম্বা হয়। বার বার আংশিক পাতন করলে অপেক্ষাকৃত সাধারণ জল অংশীকরণ স্তম্ভের মাধ্যমে বেরিয়ে যায় এবং পাতন ফ্লাস্কে ভারী জলের পরিমাণ ক্রমে বাড়তে থাকে।

ভারী জল বর্ণহীন, গন্ধহীন, স্বাদহীন তরল সাধারণ জলের চেয়ে ভারী।

জল যেমন কেলাস জল রূপে বিভিন্ন লবণের সঙ্গে যুক্ত থাকে, D_2O তেমনি লবণের সঙ্গে যুক্ত হয়ে কেলাস গঠন করে, যেমন $CuSO_4$, $5D_2O$-এর বর্ণ $CuSO_4$, $5H_2O$-এর চেয়ে বেশি সবুজ।

D_2O অত্যন্ত জলাকর্ষী পদার্থ। ভারী জল শরীরের জলীয় অংশ শোষণ করে নেয়। তাই D_2O তেজস্ক্রিয় না হলেও D_2O দ্বারা স্নান করা উচিত নয়। তাছাড়া D_2O দিয়ে স্নান করলে শরীরের মধ্যে H_2O ঃ D_2O-এর যে অনুপাত থাকে তার পরিবর্তন হবে, ফলে শরীরের বিভিন্ন ধমনীর মধ্য দিয়ে তরলের প্রবাহ কমে যাবে। এটি শরীরের পক্ষে ক্ষতিকারক।

ভারী জলের রাসায়নিক ধর্ম সাধারণ জলের মতোই, তবে ভৌত ধর্মে অনেক পার্থক্য থাকে। সাধারণ জল ও ভারী জলের ভৌত ধর্মের পার্থক্য নীচে দেখানো হল ঃ

ধর্ম	সাধারণ জল (H_2O)	ভারী জল (D_2O)
আণবিক ওজন	18·016	20·028
হিমাঙ্ক	0ºC	3·8ºC
স্ফুটনাঙ্ক	প্রমাণ চাপে 100ºC	প্রমাণ চাপে 101·4ºC
ঘনত্ব, 20ºC-এ	0·988 g/ml	1·106 g/ml
ঘনত্ব, 4ºC-এ	1·00 g/ml	1·106 g/ml

●ভারী জলের ব্যবহার ঃ

(1) নিউক্লীয় চুল্লির মধ্যে নিউক্লীয় বিভাজন ক্রিয়া ধীর গতি নিউট্রন দ্বারা সংঘটিত হয়। সুতরাং নিউক্লীয় বিভাজনে উৎপন্ন তীব্র গতি গৌণ নিউট্রনের বেগ কমিয়ে ধীর গতিতে আনার ব্যবস্থা করতে হয় যেন জ্বালানি U^{235} দণ্ডগুলি ওদের সহজে ধরতে পারে এবং আরও নিউক্লীয় বিভাজন বিক্রিয়া করতে পারে। এইজন্য জ্বালানি দণ্ডগুলিকে ভারী জল দিয়ে ঘিরে রাখা হয়। D_2O দ্রুতগতি নিউট্রনগুলির বেগ কমিয়ে দেয়। এইভাবে নিউক্লীয় চুল্লিতে D_2O মডারেটার রূপে কাজ করে।

(2) অনেক রাসায়নিক বিক্রিয়ার ক্রিয়াকৌশল জানার জন্য ভারী জল অনুসন্ধানী যৌগ (tracer compound) রূপে ব্যবহৃত হয়।

(3) ডয়টোরিয়াম প্রস্তুতিতে ভারী জল ব্যবহার করা হয়। ভারী জলের তড়িদ্‌বিশ্লেষণ দ্বারা ডয়টোরিয়াম প্রস্তুত করা হয়। ভারী জলের সঙ্গে ধাতব সোডিয়ামের বিক্রিয়াতেও ডয়টোরিয়াম উৎপন্ন হয়। $2D_2O + 2Na = 2NaOD + D_2\uparrow$

● হাইড্রোজেন পারক্সাইড ●

1.32. হাইড্রোজেন পারক্সাইড প্রস্তুতি [Preparation of Hydrogen peroxide (H_2O_2)]

(1) পরীক্ষাগার প্রস্তুতি ঃ (A) নীতি ঃ পরীক্ষাগারে **বেরিয়াম পারক্সাইডের সঙ্গে লঘু সালফিউরিক অ্যাসিড অথবা ফসফরিক অ্যাসিডের বিক্রিয়া দ্বারা** হাইড্রোজেন পারক্সাইড উৎপন্ন করা হয়।

$$BaO_2 + H_2SO_4 = BaSO_4\downarrow + H_2O_2$$
$$3BaO_2 + 2H_3PO_4 = Ba_3(PO_4)_2\downarrow + 3H_2O$$

(B) পদ্ধতি ঃ (i) একটি বিকারে বেরিয়াম পারক্সাইডের সঙ্গে সামান্য জল যোগ করে বেরিয়াম পারক্সাইডের লেই তৈরি করা হয়।

(ii) আর একটি বিকারে এক আয়তন গাঢ় H_2SO_4-এর সঙ্গে পাঁচ আয়তন জল মিশিয়ে লঘু সালফিউরিক অ্যাসিড তৈরি করা হয়। বিকারের চারদিকে বরফ দিয়ে ঢেকে রেখে উৎপন্ন লঘু অ্যাসিডের উষ্ণতা 0ºC-এ আনা হয়।

(iii) এইবার **লঘু সালফিউরিক অ্যাসিডের** মধ্যে বেরিয়াম পারক্সাইডের লেইটি ধীরে ধীরে ঢালা হয় এবং একটি কাচদণ্ড দিয়ে মিশ্রণটিকে নাড়া হয়। অ্যাসিডের মধ্যে এমনভাবে বেরিয়াম পারক্সাইড যোগ করা হয় যেন বিক্রিয়া শেষে **সামান্য অ্যাসিড উদ্‌বৃত্ত থাকে**। কারণ বেরিয়াম পারক্সাইডের পরিমাণ বেশি হয়ে গেলে, উৎপন্ন হাইড্রোজেন পারক্সাইড বিশ্লিষ্ট হয়ে যাওয়ার সম্ভাবনা থাকে। লঘু H_2SO_4 এবং BaO_2-এর বিক্রিয়ায় **অদ্রাব্য বেরিয়াম সালফেট ও হাইড্রোজেন পারক্সাইড উৎপন্ন হয়।** বেরিয়াম সালফেট অধঃক্ষিপ্ত হয়ে নীচে জমা হয়।

(iv) উপরের স্বচ্ছ তরলটিকে ফিলটার করে সংগ্রহ করা হয়। এই তরলটি হল হাইড্রোজেন পারক্সাইডের জলীয় দ্রবণ।

(C) বিশুদ্ধিকরণ (Purification) ঃ এইভাবে যে হাইড্রোজেন পারক্সাইড পাওয়া যায় তার মধ্যে H_2O_2-এর পরিমাণ মাত্র 10–20% থাকে।

(i) জলের স্ফুটনাঙ্ক 100°C এবং হাইড্রোজেন পারক্সাইডের স্ফুটনাঙ্ক 151°C। কাজেই জল হাইড্রোজেন পারক্সাইডের চেয়ে বেশি উদ্‌বায়ী। হাইড্রোজেন পারক্সাইডের এই জলীয় দ্রবণটিকে একটি চওড়া বেসিনে রেখে জলগাহের উপর বসিয়ে 66°C–70°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত করা হয়। এর ফলে জলের বেশির ভাগ বাষ্পীভূত হয়ে চলে যায় এবং দ্রবণটি গাঢ় হয়ে হাইড্রোজেন পারক্সাইডের পরিমাণ প্রায় শতকরা 66 ভাগ হয়। এর বেশি গাঢ় করার চেষ্টা করলে হাইড্রোজেন পারক্সাইড বিয়োজিত হয়ে জল ও অক্সিজেনে পরিণত হয়।

(ii) এর পর 66% হাইড্রোজেন পারক্সাইড দ্রবণটিকে 15 মিমি চাপে ও 85°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত করে অনুপ্রেষ পাতন করা হয়। এর ফলে 99·1% হাইড্রোজেন পারক্সাইড পাওয়া যায়। হাইড্রোজেন পারক্সাইডের এই গাঢ় দ্রবণকে ভ্যাকুয়াম ডেসিকেটরে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের উপর রেখে দিলে বিশুদ্ধ হাইড্রোজেন পারক্সাইড পাওয়া যায়।

● **পরীক্ষাগারে হাইড্রোজেন পারক্সাইড প্রস্তুতি সম্বন্ধে কয়েকটি গুরুত্বপূর্ণ বিষয় জানা দরকার।**

(i) H_2O_2 প্রস্তুতিতে গাঢ় H_2SO_4 ব্যবহার করা হয় না, এর কারণ হল, H_2O_2 সহজেই বিশ্লিষ্ট হয়ে H_2O এবং O_2-তে পরিণত হয়। উত্তাপে এই বিয়োজন দ্রুত হয়। H_2O_2 তৈরি করার সময় গাঢ় H_2SO_4 ব্যবহার করলে যে তাপের সৃষ্টি হবে, সেই তাপে উৎপন্ন H_2O_2 বিয়োজিত হয়ে O_2 এবং H_2O-তে পরিণত হয়। তাছাড়া গাঢ় H_2SO_4 জারক—তাই H_2O_2-কে জারিত করে O_2-তে পরিণত করে। $H_2SO_4 + H_2O_2 = 2H_2O + SO_2 + O_2$। সেইজন্য H_2O_2 প্রস্তুতিতে গাঢ় H_2SO_4 ব্যবহার করা যায় না।

(ii) H_2O_2 প্রস্তুতিতে অনার্দ্র বেরিয়াম পারক্সাইড ব্যবহার না করে BaO_2-এর লেই ব্যবহার করা হয়, কারণ উত্তাপে H_2O_2 বিশ্লিষ্ট হয়ে জল এবং O_2 উৎপন্ন করে। সুতরাং প্রস্তুতির সময় BaO_2-এর লেই-এর পরিবর্তে যদি অনার্দ্র BaO_2 ব্যবহার করা হয় তাহলে অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়ার সময় তাপের সৃষ্টি হবে, যার ফলে উৎপন্ন H_2O_2 নষ্ট হবে। তাছাড়া শুধু BaO_2-এর গুঁড়া ব্যবহার করলে H_2SO_4-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় BaO_2-এর উপর অদ্রাব্য $BaSO_4$-এর একটা স্তর পড়ে, ফলে বিক্রিয়া বন্ধ হয়ে যায়। এইজন্য অ্যাসিডে মেশাবার আগে BaO_2-এর গুঁড়ার সঙ্গে জল মিশিয়ে বেরিয়াম পারক্সাইডের লেই (BaO_2, $8H_2O$) তৈরি করে অ্যাসিডে মেশাতে হয়। লেই করলে BaO_2 সূক্ষ্ম কণায় পরিণত হয় ফলে আস্তরণ পড়ে বিক্রিয়া বন্ধ হওয়ার সম্ভাবনা থাকে না।

(iii) বিক্রিয়ার সময় লঘু H_2SO_4 এবং BaO_2-এর লেই-এর উষ্ণতা 0°C-এ রাখা হয়; কারণ H_2O_2 দুঃস্থিত পদার্থ সহজেই বিয়োজিত হয়ে H_2O এবং O_2-তে পরিণত হয়। $2H_2O_2 = 2H_2O + O_2$। তাই বিক্রিয়ার সময় অ্যাসিড এবং BaO_2 লেই-এর উষ্ণতা 0°C-এ রাখা হয়। এর ফলে H_2O_2-এর বিয়োজিত হওয়ার সম্ভাবনা থাকে না।

(iv) বিক্রিয়া শেষে সামান্য অ্যাসিড উদ্‌বৃত্ত রাখা হয়, এর কারণ হল বিক্রিয়ার শেষে দ্রবণে সামান্য অ্যাসিড উদ্‌বৃত্ত রাখা উচিত, কারণ অ্যাসিড উপস্থিত থেকে নেগেটিভ ক্যাটালিস্টের কাজ করে H_2O_2-এর বিয়োজন মন্থর করে।

(v) H_2O_2 প্রস্তুতিতে HCl বা HNO_3 ব্যবহার করা হয় না, কারণ BaO_2-এর সঙ্গে HCl-এর বিক্রিয়ায় জলে দ্রাব্য $BaCl_2$ উৎপন্ন করে। এই দ্রবণ থেকে H_2O_2 পৃথক করা কষ্টকর। H_2O_2 প্রস্তুতিতে HNO_3 ব্যবহার করা যায় না কারণ HNO_3 জারক অ্যাসিড বলে উৎপন্ন H_2O_2-কে জারিত করে। $2HNO_3 + H_2O_2 = 2H_2O + 2NO_2 + O_2$

● **BaO_2 থেকে H_2O_2 প্রস্তুত করার সময় লঘু H_2SO_4-এর চেয়ে সিরাপীয় H_3PO_4 ব্যবহার করা সুবিধাজনক—এর কারণ হল,** লঘু H_2SO_4 ব্যবহার করলে, BaO_2, $8H_2O$-এর সঙ্গে H_2SO_4-এর বিক্রিয়ায় জলে দ্রাব্য **বেরিয়াম পারসালফেট** অশুদ্ধিরূপে উৎপন্ন হয়। উৎপন্ন H_2O_2-কে বিয়োজিত করার প্রবণতা এই যৌগটির বেশি। অপর দিকে সিরাপীয় H_3PO_4 ব্যবহার করলে ভারী ধাতুর অশুদ্ধিগুলি অদ্রাব্য ফসফেট রূপে দ্রবণ থেকে পৃথক হয়ে যায়—ফলে সহজে পৃথক করে নেওয়া যায়। তাছাড়া ফসফরিক অ্যাসিড উৎপন্ন H_2O_2-এর বিয়োজন মন্থর করে।

(2) একটি পাত্রে বেরিয়াম পারক্সাইডের সঙ্গে জল মিশিয়ে, সেই মিশ্রণটিকে হিমমিশ্রের মধ্যে রেখে 0°C উষ্ণতায় এনে, ওই শীতল মিশ্রণের মধ্যে কার্বন ডাইঅক্সাইড গ্যাস দ্রুত চালনা করা হয়। এর ফলে BaO_2-এর জলীয় মিশ্রণের সঙ্গে কার্বন ডাইঅক্সাইডের বিক্রিয়ায় হাইড্রোজেন পারক্সাইড উৎপন্ন হয় ও বেরিয়াম কার্বনেট অধঃক্ষিপ্ত হয়।

$$BaO_2 + H_2O + CO_2 = H_2O_2 + BaCO_3\downarrow$$

(3) মার্ক পদ্ধতি (Merck's process) **:** হিমশীতল লঘু **সালফিউরিক অ্যাসিডের 20% জলীয় দ্রবণের** সঙ্গে পরিমাণ মতো **সোডিয়াম পারক্সাইড** একটু একটু করে যোগ করে কাচদণ্ড দিয়ে অনবরত নাড়া হয়। এর ফলে Na_2O_2-এর সঙ্গে H_2SO_4-এর বিক্রিয়ায় **সোডিয়াম সালফেট** এবং **হাইড্রোজেন পারক্সাইড** পাওয়া যায়।

$$Na_2O_2 + H_2SO_4 = Na_2SO_4 + H_2O_2$$

হিমশীতল দ্রবণে সোডিয়াম সালফেট কেলাসিত হয় এবং উপরের দ্রবণকে ফিলটার করে পৃথক করা হয়। এই জলীয় দ্রবণকে কম চাপে অনুপ্রেষ পাতন করে পাতিত তরলের শেষ অংশ সংগ্রহ করা হয়। মার্কের পদ্ধতিতে উৎপন্ন **30% হাইড্রোজেন পারক্সাইডের দ্রবণকে মার্ক পারহাইড্রল** (Merck's perhydrol) **বলে।**

●হাইড্রোজেন পারক্সাইডের শিল্প উৎপাদন ঃ

(1) তড়িদ্‌বিশ্লেষণ পদ্ধতি (Electrolysis method) ঃ হাইড্রোজেন পারক্সাইডের শিল্প-উৎপাদনে **50% সালফিউরিক অ্যাসিডের তড়িদ্‌বিশ্লেষণ** করা হয়। 50% সালফিউরিক অ্যাসিডকে হিমশীতল করে **কপার ক্যাথোড** এবং **প্ল্যাটিনাম অ্যানোডের** সাহায্যে তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করলে **সেলের অ্যানোড প্রকোষ্ঠে পারঅক্সো ডাই-সালফিউরিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।** পার অক্সো ডাই-সালফিউরিক অ্যাসিডকে সংগ্রহ করে পরিমাণ মতো পাতিত জল মেশালে আর্দ্র বিশ্লেষণ ঘটে হাইড্রোজেন পারক্সাইড উৎপন্ন হয়। এইভাবে প্রাপ্ত হাইড্রোজেন পারক্সাইডকে অনুপ্রেষ পাতন করে সীসার শীতকের সাহায্যে ঘনীভূত করলে, 30% হাইড্রোজেন পারক্সাইডের দ্রবণ পাওয়া যায়।

$$H_2SO_4 \rightleftharpoons H^+ + HSO_4^-$$

ক্যাথোড বিক্রিয়া ঃ $2H^+ + 2e = H_2\uparrow$

অ্যানোড বিক্রিয়া ঃ $2HSO_4^- - 2e = H_2S_2O_8$

পার অক্সো ডাই-সালফিউরিক অ্যাসিড

$$H_2S_2O_8 + 2H_2O \xrightarrow{\text{আর্দ্র বিশ্লেষণ}} H_2O_2 + 2H_2SO_4$$

এই পদ্ধতিতে সালফিউরিক অ্যাসিড আবার ফিরে পাওয়া যায়।

বর্তমানে জানা গেছে যে, 50% H_2SO_4-এর পরিবর্তে যদি সমমোলার পরিমাণের H_2SO_4 এবং অ্যামোনিয়াম সালফেটের মিশ্রণে তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করা হয় তাহলে বিক্রিয়া থেকে প্রাপ্ত H_2O_2-র গাঢ়ত্ব অপেক্ষাকৃত বেশি হয়। বিক্রিয়াটি হল—

$$(NH_4)_2SO_4 + H_2SO_4 = 2NH_4HSO_4$$

অ্যামোনিয়াম H সালফেট

$$NH_4HSO_4 \rightleftharpoons 2H^+ + 2NH_4SO_4$$

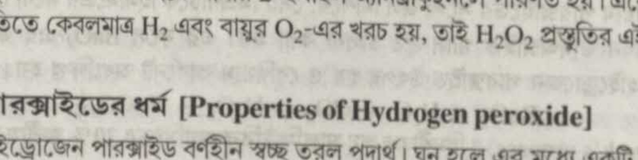
ক্যাথোড ঃ $2H^+ + 2e \rightarrow H_2\uparrow$ অ্যানোড ঃ $2NH_4SO_4^- - 2e \rightarrow (NH_4)_2S_2O_8$

অ্যামোনিয়াম পার সালফেট

অ্যানোডে সঞ্চিত $(NH_4)_3S_2O_8$-কে সংগ্রহ করে ওর সাথে পাতিত জল যোগ করলে গাঢ় H_2O_2 পাওয়া যায়।

$$(NH_4)_2S_2O_8 + 2H_2O \rightarrow 2NH_4HSO_4 + H_2O_2$$

(2) আধুনিক পদ্ধতি (Modern process) ঃ এই পদ্ধতিতে **2-ইথাইল অ্যানথ্রাকুইনলকে** বেঞ্জিন এবং সাইক্লোহেক্সানলের একটি মিশ্রণে দ্রবীভূত করে দ্রবণের ভেতর দিয়ে বায়ু চালনা করা হয়। এর ফলে 2-ইথাইল অ্যানথ্রাকুইনল বাতাসের O_2 দ্বারা জারিত হয়ে **2-ইথাইল অ্যানথ্রাকুইনোনে** পরিণত হয় এবং H_2O_2 উৎপন্ন হয়। উৎপন্ন H_2O_2-কে জৈব তরল স্তর থেকে আয়নমুক্ত জল দ্বারা নিষ্কাশিত করে। প্রায় 30% H_2O_2 দ্রবণ পাওয়া যায়। এই দ্রবণকে ভ্যাকুয়াম পাতন করলে 80—90% H_2O_2 পাওয়া যায়।



2-ইথাইল অ্যানথ্রাকুইনল   2-ইথাইল অ্যানথ্রাকুইনোন

H_2O_2-কে পৃথক করার পর 2-ইথাইল অ্যানথ্রাকুইনোনের মধ্য দিয়ে **প্যালাডিয়াম অনুঘটকের** উপস্থিতিতে H_2 গ্যাস চালনা করলে, 2-ইথাইল অ্যানথ্রাকুইনোন বিজারিত হয়ে আবার 2-ইথাইল অ্যানথ্রাকুইনলে পরিণত হয়। একে আবার H_2O_2 প্রস্তুতিতে ব্যবহার করা হয়। এই পদ্ধতিতে কেবলমাত্র H_2 এবং বায়ুর O_2-এর খরচ হয়, তাই H_2O_2 প্রস্তুতির এই পদ্ধতিটি সবচেয়ে সুলভ পদ্ধতি।

1.33. হাইড্রোজেন পারক্সাইডের ধর্ম [Properties of Hydrogen peroxide]

(A) ভৌত ধর্ম ঃ (i) হাইড্রোজেন পারক্সাইড বর্ণহীন স্বচ্ছ তরল পদার্থ। ঘন হলে এর মধ্যে একটি নীল আভা দেখা যায়। **(ii)** 0°C উষ্ণতায় ঘন H_2O_2-এর ঘনত্ব 1·46 g/cc। **(iii)** হিমাঙ্ক –0·89°C এবং স্ফুটনাঙ্ক 151°C **(iv)** ঘন হাইড্রোজেন পারক্সাইডে নাইট্রিক অ্যাসিডের মতো তীব্র গন্ধ আছে। **(v)** H_2O_2 জলের সঙ্গে যে-কোনো অনুপাতে মিশে। অ্যালকোহল এবং ইথারে H_2O_2 দ্রবণীয়।

(B) রাসায়নিক ধর্ম ঃ

(1) হাইড্রোজেন পারক্সাইড একটি অস্থায়ী যৌগ। খুব সহজে সাধারণ উষ্ণতাতেও হাইড্রোজেন পারক্সাইড বিয়োজিত হয়ে, জল ও অক্সিজেনে পরিণত হয়। $2H_2O_2 = 2H_2O + O_2 + 46{\cdot}2$ k cal

কাচগুঁড়া, সিলিকা, বিভিন্ন ধাতু চূর্ণ, কাঠকয়লার চূর্ণ, গোল্ড বা প্ল্যাটিনাম ব্ল্যাক, MnO_2 প্রভৃতির সংস্পর্শে এই বিয়োজন দ্রুতগতিতে ঘটে। এই পদার্থগুলি পজিটিভ ক্যাটালিস্টের কাজ করে। হাইড্রোজেন পারক্সাইড দ্রবণে H^+ আয়ন উপস্থিত থাকলে H^+ আয়ন নেগেটিভ ক্যাটালিস্টের কাজ করে H_2O_2-এর বিয়োজনকে মন্থর করে। এই কারণে **হাইড্রোজেন পারক্সাইডের স্থায়িত্ব বাড়াবার জন্য উৎপন্ন H_2O_2 এর সাথে সালফিউরিক অ্যাসিড, ফসফরিক অ্যাসিড প্রভৃতি মিশিয়ে দেওয়া হয়।**

(2) অ্যাসিড ধর্ম এবং পারক্সাইড গঠন ধর্ম ঃ বিশুদ্ধ হাইড্রোজেন পারক্সাইডে অ্যাসিডের ধর্ম প্রকাশ পায়। বিশুদ্ধ H_2O_2 নীল লিটমাসকে লাল করে H_2O_2 জলীয় দ্রবণে সামান্য আয়নিত হয়ে H_3O^+ এবং HO_2^- আয়ন উৎপন্ন করে।

$$H_2O_2 + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + HO_2^- \text{ (হাইড্রো পারক্সাইড আয়ন)}$$

অ্যাসিড যেমন ক্ষারের সঙ্গে বিক্রিয়া করে লবণ ও জল উৎপন্ন করে, হাইড্রোজেন পারক্সাইডও তেমনি **ক্ষারের সঙ্গে বিক্রিয়া করে পারক্সাইড যৌগ ও জল উৎপন্ন করে।** পারক্সাইড যৌগ উৎপন্ন করে বলে H_2O_2-এর এই ধর্মকে **পারক্সাইড-গঠন ধর্ম** (Peroxidising property) বলা হয়।

যেমন, **সোডিয়াম হাইড্রক্সাইড, পটাশিয়াম হাইড্রক্সাইড, বেরিয়াম হাইড্রক্সাইডের** সঙ্গে বিক্রিয়া করে ধাতুগুলির পারক্সাইড যৌগ উৎপন্ন করে। Na_2CO_3-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় CO_2 এবং Na_2O_2 উৎপন্ন হয়।

$$Ba(OH)_2 + H_2O_2 = BaO_2 + 2H_2O \qquad 2NaOH + H_2O_2 = Na_2O_2 + 2H_2O$$

$$Na_2CO_3 + H_2O_2 = Na_2O_2 + H_2O + CO_2$$

(3) যুতযৌগ গঠন (পারহাইড্রেট) ঃ কতকগুলি অণুর সঙ্গে, কেলাস জলের মতো H_2O_2 যুক্ত হয়ে যুতযৌগ উৎপন্ন করে। যেমন— $[(NH_4)_2SO_4, H_2O_2]$; $[Na_2SO_4, H_2O_2, 9H_2O]$; $[NaBO_2, H_2O_2, 3H_2O]$

(4) জারণ-ক্রিয়া ঃ হাইড্রোজেন পারক্সাইডের জারণ ক্ষমতা আছে। হাইড্রোজেন পারক্সাইড বিশ্লিষ্ট হয়ে যে অক্সিজেন মুক্ত করে তা জায়মান অবস্থায় থাকে বলে অন্য পদার্থ সহজে জারিত হয়। $H_2O_2 = H_2O + O$

● **হাইড্রোজেন পারক্সাইডের জারণ-ক্ষমতার কয়েকটি উদাহরণ দেওয়া হল—**

(i) অ্যাসিডযুক্ত বর্ণহীন **পটাশিয়াম আয়োডাইড দ্রবণকে** জারিত করে **আয়োডিন মুক্ত করে** যা অবশিষ্ট KI-এর জলীয় দ্রবণে দ্রবীভূত হয়ে বাদামি বর্ণের KI_3 উৎপন্ন করে, **ফলে দ্রবণের রং বাদামি হয়।**

$$2\overset{-1}{K}I + 2HCl + H_2\overset{-1}{O_2} = 2KCl + \overset{0}{I_2} + 2H_2\overset{-2}{O}$$

(ii) কালো লেড সালফাইডকে জারিত করে **সাদা রং-এর লেড সালফেট** উৎপন্ন করে।

$$PbS + 4H_2O_2 = PbSO_4 + 4H_2O$$

লেড লবণের সাদা রঙ দিয়ে তৈরি চিত্র বায়ুর মধ্যে থাকা সামান্য H_2S-এর উপস্থিতিতে কালো PbS-এ পরিণত হয়। এর ফলে চিত্রটি কালো হয়ে যায়। ওই চিত্রটিকে H_2O_2 দ্রবণ দিয়ে ধুলে কালো PbS, সাদা রঙের $PbSO_4$-এ পরিণত হয়, ফলে ওই কালো হয়ে যাওয়া চিত্রটি পূর্বের মতো পরিষ্কার হয়।

সোডিয়াম সালফাইটকে সোডিয়াম সালফেটে জারিত করে। $Na_2SO_3 + H_2O_2 = Na_2SO_4 + H_2O$

(iii) আম্লিক বর্ণহীন ফেরাস সালফেট দ্রবণকে H_2O_2 জারিত করে **হলুদ রং-এর ফেরিক সালফেটে** পরিণত করে।

$$2\overset{+2}{Fe}SO_4 + H_2SO_4 + H_2O_2 = \overset{+3}{Fe_2}(SO_4)_3 + 2H_2O$$

(iv) আম্লিক স্ট্যানাস ক্লোরাইডকে জারিত করে **স্ট্যানিক ক্লোরাইডে** পরিণত করে।

$$\overset{+2}{Sn}Cl_2 + 2HCl + H_2O_2 = \overset{+4}{Sn}Cl_4 + 2H_2O$$

(v) হাইড্রোজেন সালফাইডকে জারিত করে **হলুদ-রং-এর সালফার মুক্ত করে।**

$$H_2\overset{-2}{S} + H_2O_2 = \overset{0}{S}\downarrow + 2H_2O$$

(vi) সোডিয়াম বা পটাশিয়াম নাইট্রাইটকে জারিত করে **নাইট্রেটে** পরিণত করে।

$$Na\overset{+3}{N}O_2 + H_2O_2 = Na\overset{+5}{N}O_3 + H_2O$$

(vii) আম্লিক পটাশিয়াম ফেরোসায়ানাইড দ্রবণকে জারিত করে **পটাশিয়াম ফেরিসায়ানাইডে** পরিণত করে।

$$2K_4\overset{+2}{Fe}(CN)_6 + H_2SO_4 + H_2O_2 = 2K_3\overset{+3}{Fe}(CN)_6 + K_2SO_4 + 2H_2O$$

(viii) ক্ষারীয় মাধ্যমে $MnSO_4$, H_2O_2 দ্বারা MnO_2-তে জারিত হয়।

$$MnSO_4 + 2NaOH + H_2O_2 = MnO_2 + Na_2SO_4 + 2H_2O$$

(5) বিজারণ ক্রিয়া ঃ H_2O_2 সাধারণত জারকের কাজ করে, কিন্তু কোনো কোনো পদার্থকে (জারক পদার্থ) আবার বিজারিত করে।

(i) সিলভার অক্সাইডের সঙ্গে হাইড্রোজেন পারক্সাইড যোগ করলে ধাতব সিলভার অধঃক্ষিপ্ত হয়।

$$Ag_2O + H_2O_2 = 2Ag \downarrow + H_2O + O_2$$

(ii) PbO_2-এর সঙ্গে H_2O_2-এর বিক্রিয়ায় PbO_2 বিজারিত হয়ে PbO উৎপন্ন হয়।

$$PbO_2 + H_2O_2 = PbO + H_2O + O_2$$

(iii) অ্যাসিডমিশ্রিত বেগুনি রং-এর পটাশিয়াম পারম্যাঙ্গানেট দ্রবণে H_2O_2 যোগ করলে $KMnO_4$ বিজারিত হয়ে বর্ণহীন ম্যাঙ্গানাস লবণ উৎপন্ন করে।

$$2K\overset{+7}{Mn}O_4 + 5H_2\overset{-1}{O}_2 + 3H_2SO_4 = K_2SO_4 + 2\overset{+2}{Mn}SO_4 + 5\overset{0}{O}_2 + 8H_2O$$

(iv) কমলা বর্ণের অ্যাসিড যুক্ত পটাশিয়াম ডাই-ক্রোমেট দ্রবণ H_2O_2 দ্বারা বিজারিত হয়ে সবুজ বর্ণের ক্রোমিক লবণ উৎপন্ন করে, ফলে দ্রবণের বর্ণ কমলা থেকে গাঢ় সবুজ বর্ণে পরিণত হয়। বিক্রিয়ায় প্রথম ধাপে অ্যাসিড যুক্ত $K_2Cr_2O_7$ হাইড্রোজেন পারক্সাইডের সঙ্গে বিক্রিয়া করে পারক্রোমিক অ্যাসিডে পরিণত হয়। দ্বিতীয় ধাপে উৎপন্ন পারক্রোমিক অ্যাসিড H_2SO_4-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে ক্রোমিক লবণ উৎপন্ন করে।

(i) $$K_2Cr_2O_7 + 4H_2O_2 + H_2SO_4 = 2CrO_5 + K_2SO_4 + 5H_2O$$

(ii) $$4CrO_5 + 6H_2SO_4 = \underset{\text{সবুজ}}{2Cr_2(SO_4)_3} + 7O_2 + 6H_2O$$

(v) H_2O_2 **ক্ষারীয় পটাশিয়াম ফেরিসায়ানাইডকে বিজারিত করে পটাশিয়াম ফেরোসায়ানাইড** উৎপন্ন করে।

$$2K_3\overset{+3}{Fe}(CN)_6 + 2KOH + H_2\overset{-1}{O}_2 = 2K_4\overset{+2}{Fe}(CN)_6 + 2H_2O + \overset{0}{O}_2$$

(vi) H_2O_2 **ক্লোরিনকে বিজারিত করে হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড** উৎপন্ন করে।

$$\overset{0}{Cl}_2 + H_2\overset{-1}{O}_2 = 2H\overset{-1}{Cl} + \overset{0}{O}_2$$

(vii) ওজোনের সঙ্গে H_2O_2-এর বিক্রিয়ায় ওজোন বিজারিত হয়ে অক্সিজেন উৎপন্ন হয়।

$$O_3 + H_2O_2 = H_2O + 2O_2$$

(6) বিরঞ্জন ধর্ম (Bleaching property) **ঃ হাইড্রোজেন পারক্সাইড রেশম, পশম, হাতীর দাঁত প্রভৃতি পদার্থকে বিরঞ্জিত করে। H_2O_2 বিয়োজিত হয়ে জায়মান অক্সিজেন উৎপন্ন করে। এই জায়মান অক্সিজেন পদার্থকে জারিত করে বিরঞ্জিত করে।**

$$H_2O_2 \longrightarrow H_2O + O$$

$$\text{রঙিন পদার্থ} \xrightarrow[\text{জারণ}]{[O]} \text{বিরঞ্জিত পদার্থ}$$

1.34. হাইড্রোজেন পারক্সাইড দ্রবণের শক্তি [Strength of H_2O_2 solution]

হাইড্রোজেন পারক্সাইড দ্রবণের গাঢ়ত্ব বা শক্তি, আয়তনমাত্রা দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

এক ml হাইড্রোজেন পারক্সাইড দ্রবণ থেকে প্রমাণ চাপ ও তাপমাত্রায় যত ml অক্সিজেন পাওয়া যায় সেই সংখ্যাটি হল ওই দ্রবণের আয়তন মাত্রা। $2H_2O_2 = 2H_2O + O_2\uparrow$

'x vol H_2O_2' বলতে এই বুঝায় যে **এই দ্রবণের 1 ml থেকে S.T.P.-তে x ml অক্সিজেন পাওয়া যাবে।** '10 vol H_2O_2 দ্রবণ'—এই কথা বলতে বুঝায় **যে দ্রবণটির 1 ml থেকে S.T.P.-তে 10 ml O_2 পাওয়া যাবে।** সুতরাং দ্রবণটির 10 ml থেকে $10 \times 10 = 100$ ml O_2 (S.T.P.-তে) পাওয়া যাবে।

● **H_2O_2 দ্রবণের আয়তন মাত্রা এবং শতকরা মাত্রার মধ্যে সম্পর্ক ঃ**

$$\underset{68\ g}{2H_2O_2} = 2H_2O + \underset{\substack{22{\cdot}4\ \text{লি বা} \\ 22400\ ml\ S.T.P.\text{-তে}}}{O_2}$$

সমীকরণ থেকে পাই, 68 g H_2O_2 থেকে S.T.P-তে 22400 ml O_2 পাওয়া যায়।

1 g H_2O_2 থেকে S.T.P.-তে $\frac{22400}{68}$ ml বা, 329·4 ml O_2 পাওয়া যায়।

এখন যে H_2O_2 দ্রবণের 100 ml-এর মধ্যে 1 g H_2O_2 থেকে তার শক্তি 1%

অর্থাৎ 100 ml 1% H_2O_2 দ্রবণ থেকে S.T.P.-তে 329·4 ml O_2 পাওয়া যায়।

∴ 1 ml 1% H_2O_2 দ্রবণ থেকে S.T.P.-তে $\frac{329\cdot4}{100}$ ml বা, 3·294 ml O_2 পাওয়া যায়।

∴ 1% H_2O_2 দ্রবণের আয়তন মাত্রা = 3·294 আয়তন।

সুতরাং x আয়তন মাত্রার H_2O_2 দ্রবণের শতকরা মাত্রা = $\frac{x}{3\cdot294}$ % = **0·3036x%**

কাজেই দেখা গেল—**আয়তন মাত্রায় প্রকাশিত H_2O_2 দ্রবণের শক্তিকে 0·3036 দিয়ে গুণ করলে দ্রবণটির শতকরা মাত্রা পাওয়া যায়।**

● H_2O_2 দ্রবণের আয়তন মাত্রা এবং নর্ম্যাল মাত্রার মধ্যে সম্পর্ক ঃ

H_2O_2-এর তুল্যাঙ্কভার = $\frac{34}{2}$ = 17

এখন 68 g H_2O_2 দ্রবণ থেকে S.T.P.-তে 22400 ml O_2 পাওয়া যায়।

∴ 17 g H_2O_2 থেকে $\frac{22400 \times 17}{68}$ ml বা, 5600 ml O_2 পাওয়া যায়।

এখন 1000 ml দ্রবণে 17 g H_2O_2 থাকলে দ্রবণের মাত্রা = (N) হয়।

সুতরাং 1000 ml (N) H_2O_2 দ্রবণ থেকে S.T.P.-তে 5600 ml O_2 পাওয়া যায়।

∴ 1 ml (N) H_2O_2 দ্রবণ থেকে S.T.P.-তে $\frac{5600}{1000}$ ml বা, 5·6 ml O_2 পাওয়া যায়।

∴ 1 (N) H_2O_2 দ্রবণের আয়তন মাত্রা = 5·6 ∴ 1 x (N) H_2O_2 দ্রবণের আয়তন মাত্রা = 5·6x

সুতরাং দেখা গেল— **H_2O_2 দ্রবণের নর্ম্যাল মাত্রায় প্রকাশিত শক্তিকে 5·6 দিয়ে গুণ করলে ওই দ্রবণের আয়তন মাত্রা পাওয়া যায়।**

উদাহরণ ঃ (1) ***10 vol H_2O_2 দ্রবণের শক্তিমাত্রা (i) লিটার প্রতি গ্রাম হিসাবে, (ii) নর্ম্যালিটিতে এবং (iii) শতকরা মাত্রায় নির্ণয় করো।***

Ans.

$$\underset{68\text{ g}}{2H_2O_2} = 2H_2O + \underset{22\cdot4 \text{ লি S.T.P.-তে}}{O_2}$$

(i) এখন 10 vol H_2O_2-এর অর্থ—

S.T.P.-তে 10 ml O_2 পাওয়া যায় 1 ml H_2O_2 দ্রবণ থেকে।

22400 ml O_2 পাওয়া যায় $\frac{22400}{10}$ = 2240 ml H_2O_2 দ্রবণ থেকে।

সুতরাং 2240 ml H_2O_2 দ্রবণের মধ্যে H_2O_2 আছে 68 g

1000 ml H_2O_2 দ্রবণের মধ্যে H_2O_2 আছে $\frac{68 \times 1000}{2240}$ = 30·36 g

(ii) H_2O_2-এর তুল্যাঙ্কভার = 34/2 = 17.

দেখা গেল 1000 ml H_2O_2 দ্রবণে H_2O_2-এর পরিমাণ = 30·36 g

সুতরাং **10 vol H_2O_2 দ্রবণটির নর্ম্যালিটিতে এর শক্তিমাত্রা = $\frac{30\cdot36}{17}$ = 1·7858(N)**

∴ প্রতি litre-এ gram হিসাবে 10 vol H_2O_2 দ্রবণের শক্তিমাত্রা = 30·36/litre

(iii) এখন 1000 ml দ্রবণে H_2O_2 আছে 30·36 g

∴ 100 ml দ্রবণে H_2O_2 আছে $\frac{30\cdot36 \times 100}{1000}$ = 3·036 g

∴ **10 vol H_2O_2 দ্রবণে ওজন হিসাবে শতকরা মাত্রা = 3·036%**

1.35. হাইড্রোজেন পারক্সাইডের ব্যবহার [Uses of H_2O_2]

(i) পরীক্ষাগারে $FeSO_4$-এর সহযোগ জারকরূপে (Fenton's reagent), **(ii)** জীবাণুনাশকরূপে, **(iii)** পুরানো তৈল চিত্রের রং উদ্ধারে, **(iv)** সিল্ক, পশম, হাতির দাঁতের জিনিস, পালক ইত্যাদি বিরঞ্জন ও পরিষ্কার করতে, **(v)** ক্লোরিন ও ব্লিচিং পাউডার দ্বারা বিরঞ্জিত দ্রব্য থেকে ক্লোরিন অপসারণে হাইড্রোজেন পারক্সাইড ব্যবহার করা হয়। **(vi)** রকেটের জ্বালানির সঙ্গে জারকরূপে, 85—90% H_2O_2 এবং $KMnO_4$-এর মিশ্রণ রকেটে ব্যবহার করা হয়। **(vii)** প্রয়োজনীয় কতকগুলি যৌগ প্রস্তুতিতে (যেমন সোডিয়াম পারক্লোরেট, ইপক্সাইড ইত্যাদি) এবং **(viii)** দুধ এবং মদ্যের সংরক্ষণে হাইড্রোজেন পারক্সাইড ব্যবহৃত হয়।

● ওজোন ●

ওজোন ও অক্সিজেন আসলে একই মৌল—**অক্সিজেনের একটি রূপভেদ হল ওজোন**। অক্সিজেনের প্রতি অণুতে দুটি পরমাণু (O_2), আর ওজোনের প্রতি অণুতে তিনটি পরমাণু (O_3) থাকে। অণুর গঠনে এই পার্থক্যের জন্য ওজোন ও অক্সিজেনের মধ্যে ভৌত ও রাসায়নিক ধর্মের অনেক পার্থক্য লক্ষ্য করা যায়। বিজ্ঞানী **স্কোনবিন (Schonbein)** বাতাসের মধ্যে তড়িৎ-ক্ষরণ করে ওজোন গ্যাসের সন্ধান পান। বায়ুমণ্ডলের ওজোনোস্ফিয়ারে ওজোনের অস্তিত্ব লক্ষ্য করা যায়। অনুমান করা হয়, অতি বেগুনি আলোর সংস্পর্শে বাতাসের অক্সিজেন ওজোনে পরিণত হয়।

1.36. ওজোন প্রস্তুতি [Preparation of O_3]

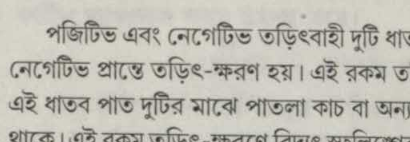
সাধারণত **শব্দহীন তড়িৎ-ক্ষরণের সাহায্যে বিশুদ্ধ ও শুষ্ক অক্সিজেন থেকে ওজোন উৎপন্ন হয়। বিক্রিয়াটি তাপ-শোষক।**

$$3O_2 \rightleftharpoons 2O_3 - 34{\cdot}2 \text{ k cal}$$

পজিটিভ এবং নেগেটিভ তড়িৎবাহী দুটি ধাতব পাতকে পরস্পর স্পর্শ না করিয়ে খুব কাছাকাছি আনলে পজিটিভ প্রান্ত থেকে নেগেটিভ প্রান্তে তড়িৎ-ক্ষরণ হয়। এই রকম তড়িৎ-ক্ষরণে বিদ্যুৎ-স্ফুলিঙ্গের সৃষ্টি হয়; সেই সঙ্গে তাপ ও আলোর সৃষ্টি হয়। এই ধাতব পাত দুটির মাঝে পাতলা কাচ বা অন্য কোনো অন্তরক পদার্থ থাকলে ওই পাত দুটির মধ্যে নিঃশব্দে তড়িৎ-ক্ষরণ হতে থাকে। এই রকম তড়িৎ-ক্ষরণে বিদ্যুৎ স্ফুলিঙ্গের সৃষ্টি হয় না। পজিটিভ ও নেগেটিভ প্রান্তের মধ্যে বিভব-পার্থক্য খুব বেশি হলেই এই রকম তড়িৎ-ক্ষরণ হয়। এই রকম শব্দহীন তড়িৎ-ক্ষরণের মাঝে অক্সিজেন গ্যাস রাখলে, অক্সিজেন ওজোনে পরিণত হয়।

1.37. ওজোনের পরীক্ষাগার পদ্ধতি [Laboratory method of preparation of Ozone]

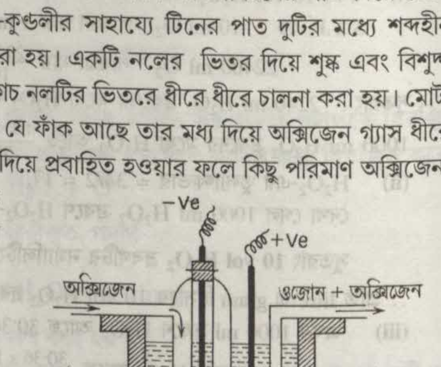
(1) সিমেন্স যন্ত্রের সাহায্যে ওজোন প্রস্তুতি ঃ এই যন্ত্রে একটি মোটা কাচনলের মধ্যে আর একটি সরু কাচনল প্রবেশ করানো থাকে। নল দুটি একই অক্ষে অবস্থান করে। সরু নলটির ভিতরের প্রান্তটি বন্ধ থাকে এবং অপর প্রান্তটির সঙ্গে বড়ো নলটির প্রান্ত জুড়ে দেওয়া হয়। বাইরের মোটা কাচনলের সঙ্গে দুটি নল যুক্ত থাকে। একটির মধ্য দিয়ে শুষ্ক এবং বিশুদ্ধ অক্সিজেন গ্যাস নলের ভিতরে ঢোকে আর অন্য নল দিয়ে ওজোন ও অক্সিজেনের মিশ্রণ বেরিয়ে যায়। মোটা কাচ নলটির বাইরের দিকে আর সরু কাচ-নলটির ভিতরের দিক পাতলা টিনের পাত দিয়ে ঢেকে দেওয়া থাকে। আবেশ-কুণ্ডলীর সাহায্যে টিনের পাত দুটির মধ্যে শব্দহীন তড়িৎ ক্ষরণের সৃষ্টি করা হয়। একটি নলের ভিতর দিয়ে শুষ্ক এবং বিশুদ্ধ অক্সিজেন গ্যাস মোটা কাচ নলটির ভিতরে ধীরে ধীরে চালনা করা হয়। মোটা ও সরু কাচনলের মাঝে যে ফাঁক আছে তার মধ্য দিয়ে অক্সিজেন গ্যাস ধীরে ধীরে প্রবাহিত হয়। এইভাবে অক্সিজেন গ্যাস শব্দহীন তড়িৎ-ক্ষরণের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হওয়ার ফলে কিছু পরিমাণ অক্সিজেন, ওজোনে পরিণত হয়। এইভাবে শতকরা 10 ভাগ অক্সিজেন ওজোনে পরিণত হয়। নির্গম-নলের ভিতর দিয়ে অক্সিজেন ও ওজোনের মিশ্রণ বেরিয়ে আসে।



চিত্র 1.19 ঃ সিমেন্স যন্ত্রে O_3 প্রস্তুতি

(2) ব্রুডির যন্ত্রের সাহায্যে ওজোন প্রস্তুতি ঃ

এই যন্ত্রে [চিত্র 1.20] দুটি সমকেন্দ্রিক কাচনল থাকে। মোটা কাচনলটির ভিতর সরু নলটিও ঢোকানো থাকে। সরু নলটির ভিতরের প্রান্ত বন্ধ এবং উপরের প্রান্তটি মোটা কাচনলের সঙ্গে জুড়ে দেওয়া থাকে। সরু নলটির মধ্যে লঘু H_2SO_4 পূর্ণ থাকে এবং H_2SO_4-এর মধ্যে প্ল্যাটিনামের তার ডোবান থাকে। মোটা কাচনলে একটি আগম নল ও একটি নির্গমনল যুক্ত থাকে। মোটা কাচ নলটিকে লঘু H_2SO_4-পূর্ণ একটি পাত্রে আংশিক ডুবিয়ে রাখা হয়। H_2SO_4-পূর্ণ পাত্রে আর একটি প্ল্যাটিনাম তার আংশিক ডোবান থাকে। সমকেন্দ্রিক দুটি কাচনলের মাঝের ফাঁকা জায়গার মধ্য দিয়ে ধীরে ধীরে শুষ্ক এবং বিশুদ্ধ অক্সিজেন গ্যাস প্রবাহিত করা হয়। প্ল্যাটিনাম তার দুটির সঙ্গে আবেশকুণ্ডলী যুক্ত করে শব্দহীন তড়িৎ-ক্ষরণ সৃষ্টি করা হয়। এর ফলে অক্সিজেনের শতকরা 20 ভাগ ওজোনে পরিণত হয়ে নির্গম-নল দিয়ে বেরিয়ে আসে।



চিত্র 1.20 ঃ ব্রুডির যন্ত্রে O_3 প্রস্তুতি

● **বিশুদ্ধ ওজোন প্রস্তুতি ঃ** এইভাবে প্রাপ্ত অক্সিজেন-মিশ্রিত ওজোনকে তরল বাতাস দিয়ে ঢাকা কোনো গ্রাহকের মধ্যে রাখলে মিশ্রণটি খুব শীতল হয়ে গাঢ় নীল রং-এর তরলে পরিণত হয়। এই তরলে, তরল ওজোনের সঙ্গে অক্সিজেনও বর্তমান থাকে। যেহেতু O_3-এর চেয়ে O_2 বেশি উদ্‌বায়ী তাই মিশ্রণটির আংশিক পাতন করে পাম্পের সাহায্যে অক্সিজেনকে সরিয়ে নেওয়া হয়। ফলে বিশুদ্ধ গাঢ় নীল রঙের তরল ওজোন পাওয়া যায়। এই তরল ওজোনকে সাধারণ উষ্ণতায় আনলে বিশুদ্ধ ওজোন গ্যাস পাওয়া যায়। ওজোনের এই বিশুদ্ধিকরণ খুব সাবধানতার সঙ্গে সম্পন্ন করা হয় কারণ তরল ওজোন তীব্র বিস্ফোরক পদার্থ।

● **পরীক্ষাগারে ওজোন প্রস্তুতির সময় শব্দহীন তড়িৎক্ষরণ করা হয় কেন?**

অক্সিজেন গ্যাসের ওজোন গ্যাসে পরিণত হওয়ার বিক্রিয়াটি হল উভমুখী বিক্রিয়া। $3O_2 \rightleftharpoons 2O_3 - 34{\cdot}2$ k cal

এই উভমুখী বিক্রিয়ায় সম্মুখ বিক্রিয়াটি হল **তাপ শোষক**। সুতরাং অক্সিজেন গ্যাস ওজোনে পরিণত হওয়ার সময় তাপ শোষিত হয়—অর্থাৎ বিক্রিয়াটি **তাপগ্রাহী**। **লা শাতেলিয়ারের নীতি** অনুযায়ী এই বিক্রিয়ায় উষ্ণতা বাড়ালে সম্মুখ বিক্রিয়া ঘটে O_3-এর উৎপাদন বেশি হওয়ার কথা। যেহেতু ওজোন দুঃস্থিত পদার্থ তাই সাধারণ উষ্ণতাতেই O_3 বিয়োজিত হয়ে O_2-তে পরিণত হওয়ার প্রবণতা দেখা দেয়। এই বিয়োজন উচ্চ উষ্ণতায় দ্রুত হয়। সাধারণ তড়িৎ-ক্ষরণ করলে যে তড়িৎ স্ফুলিঙ্গের সৃষ্টি হয়, সেই তড়িৎ স্ফুলিঙ্গ দ্বারা সৃষ্ট তাপে উৎপন্ন ওজোন দ্রুত বিয়োজিত হয়ে যায়। $2O_3 \rightarrow 3O_2$। এখন যদি ধাতব তড়িদ্দ্বার দুটির মাঝে পাতলা কাচ বা অন্য কোনো অন্তরক পদার্থ রেখে তড়িদ্দ্বার দুটির সঙ্গে আবেশ কুণ্ডলী যোগ করে তড়িদ্দ্বার দুটির মধ্যে খুব বেশি বিভব পার্থক্যের সৃষ্টি করা হয় তাহলে ওই তড়িদ্দ্বার দুটির মাঝে তড়িৎ-ক্ষরণ হতে থাকে, কিন্তু কোনো স্ফুলিঙ্গ, তাপ বা শব্দের সৃষ্টি হয় না। তাপ উৎপন্ন না হওয়ার জন্য উৎপন্ন ওজোনের বিয়োজিত হওয়ার সম্ভাবনা কমে যায়। তাই শব্দহীন তড়িৎ ক্ষরণ দ্বারা ওজোন উৎপন্ন করা হয়।

1.38. ওজোনের ধর্ম [Properties of Ozone]

(A) ভৌত ধর্ম ঃ (i) ওজোন আঁসটে গন্ধযুক্ত নীল রং-এর গ্যাস। **(ii)** জলে ওজোনের দ্রাব্যতা কম হলেও অক্সিজেনের চেয়ে বেশি। **(iii) তার্পিন তেল ওজোনকে শোষণ করে।** জৈব দ্রাবক—যেমন, **কার্বনটেট্রাক্লোরাইড, অ্যাসেটিক অ্যাসিড, ক্লোরোফর্ম** প্রভৃতিতে ওজোন দ্রবীভূত হয়ে নীল বর্ণের দ্রবণ উৎপন্ন করে। **(iv)** বাতাসের চেয়ে ওজোন প্রায় দেড়গুণ ভারী। **(v)** তরল ওজোন একটি বিস্ফোরক পদার্থ, এর চৌম্বক ধর্ম দেখা যায়। **(vi)** ওজোনের স্ফুটনাঙ্ক $-112°C$।

(B) রাসায়নিক ধর্ম ঃ (1) স্থায়িত্ব ঃ ওজোন একটি দুঃস্থিত পদার্থ। সাধারণ উষ্ণতায় মন্থর গতিতে O_3 অণু ভেঙ্গে O_2-তে পরিণত হতে থাকে। ওজোনে তাপ প্রয়োগ করলে (250°C—300°C) ওজোনের অণু ভেঙ্গে অক্সিজেনে পরিণত হয়। অনুঘটকের উপস্থিতিতে (Ag, CuO, MnO_2, Pt ব্ল্যাক) বিয়োজন দ্রুত করে।

$$2O_3\,(g) \xrightarrow[\text{অনুঘটক}]{250°C \text{ বা}} 3O_2\,(g)$$

(2) ওজোন একটি শক্তিশালী জারক পদার্থ ঃ মৌলগুলির মধ্যে **একমাত্র ফ্লুওরিন ওজোনের চেয়ে তীব্র জারক**। ওজোন অক্সিজেনের চেয়েও শক্তিশালী জারক, কারণ ওজোন সহজেই বিয়োজিত হয়ে এক অণু O_2 এবং একটি জায়মান অক্সিজেন দেয়। উৎপন্ন এই জায়মান অক্সিজেনই পদার্থকে জারিত করে।

$$O_3 \rightarrow O_2 + \underset{\text{জায়মান}}{O} \qquad\qquad \text{পদার্থ} + \underset{\text{জায়মান}}{O} = \text{জারিত পদার্থ}$$

● **ওজোন অক্সিজেনের চেয়ে তীব্র জারক ঃ** অক্সিজেনও জায়মান অক্সিজেন উৎপন্ন করে জারিত করে, তবে সাধারণ উষ্ণতায় নয়—উচ্চ উষ্ণতায় O_2 অণু বিয়োজিত হয়ে জায়মান অক্সিজেন উৎপন্ন করে। তাই দেখা যায় সাধারণ উষ্ণতায় যে সব পদার্থের সঙ্গে O_2 বিক্রিয়া করতে পারে না সেই রকম অনেক পদার্থের সঙ্গে O_3 বিক্রিয়া করে। (সাধারণ উষ্ণতায় $2Hg + O_3 = Hg_2O + O_2$) তাই **অক্সিজেনের চেয়ে ওজোন আরো সক্রিয়। ওজোনের এই তীব্র জারণ ক্ষমতা হল সহজে জায়মান অক্সিজেন উৎপন্ন করার জন্য।**

(i) ধাতুর জারণ ঃ (a) গোল্ড, প্ল্যাটিনাম প্রভৃতি কয়েকটি ধাতু ছাড়া প্রায় সব ধাতুই ওজোন দ্বারা জারিত হয়ে অক্সাইডে পরিণত হয়। ধাতব সিলভার অক্সাইডে পরিণত হয়। $2Ag + O_3 = Ag_2O + O_2\uparrow$

(b) সাধারণ উষ্ণতায় মার্কারি ওজোনের সংস্পর্শে এলে মার্কারি O_3 দ্বারা জারিত হয়ে মারকিউরাস অক্সাইডে পরিণত হয় যা পারদে দ্রবীভূত অবস্থায় থাকে। এর ফলে মার্কারির গতিশীলতা এবং ধাতব ঔজ্জ্বল্য নষ্ট হয়ে যায় এবং মার্কারি কাচের গায়ে আটকে যায়। একে trailing of mercury বলে। জল দিয়ে ঝাঁকালে পারদ আবার তার গতিশীলতা ফিরে পায়।

$$2Hg + O_3 = Hg_2O + O_2\uparrow$$

(ii) অধাতুর জারণ ঃ আর্দ্র সালফার, ফসফরাস, আয়োডিন প্রভৃতি অধাতুকে ওজোন জারিত করে ওদের **উচ্চতর অক্সিঅ্যাসিডে** পরিণত করে।

$$3O_3 + \overset{0}{S} + H_2O = 3O_2 + H_2\overset{+6}{S}O_4$$

আয়োডিন, O_3 দ্বারা জারিত হয়ে **আয়োডিক অ্যাসিডে** পরিণত হয়।

$$5O_3 + \overset{0}{I_2} + H_2O = 2H\overset{+5}{I}O_3 + 5O_2$$

ফসফরাসের সঙ্গে ওজোনের বিক্রিয়ায় ফসফরাস জারিত হয়ে **অর্থো ফসফরিক অ্যাসিড** উৎপন্ন করে।

$$\overset{0}{P_4} + 6H_2O + 10O_3 = 4H_3\overset{+5}{P}O_4 + 10O_2$$

(iii) ধাতুকল্পের সাথে ঃ ওজোন আর্সেনিককে আর্সেনিক অ্যাসিডে জারিত করে।

$$2As + 5O_3 + 3H_2O = 2H_3AsO_4 + 5O_2$$

(iv) যৌগের জারণ ঃ (a) লেড সালফাইড (কালো) ওজোন দ্বারা জারিত হয়ে **লেড সালফেট** (সাদা) উৎপন্ন করে।

$$Pb\overset{-2}{S} + 4O_3 = Pb\overset{+2}{S}O_4 + 4O_2$$

অনুরূপে CuS, ZnS ওজোন দ্বারা জারিত হয়ে যথাক্রমে $CuSO_4$ এবং $ZnSO_4$-এ পরিণত হয়।

(b) আম্লিক ফেরাস সালফেট দ্রবণ ওজোন দ্বারা জারিত হয়ে **হলুদ রং-এর ফেরিক সালফেট** দ্রবণ উৎপন্ন করে।

$$2FeSO_4 + H_2SO_4 + O_3 = Fe_2(SO_4)_3 + H_2O + O_2$$

(c) ওজোন হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডকে জারিত করে **ক্লোরিন** উৎপন্ন করে। **হাইড্রোব্রোমিক অ্যাসিড** এবং **হাইড্রোআয়োডিক অ্যাসিডকে** জারিত করে যথাক্রমে Br_2 এবং I_2 মুক্ত করে।

$$2HCl + O_3 = Cl_2 + H_2O + O_2 ; \qquad 2HBr + O_3 = Br_2 + H_2O + O_2$$

(d) অ্যাসিড যুক্ত পটাশিয়াম আয়োডাইড দ্রবণ ওজোন দ্বারা জারিত হয়ে I_2 মুক্ত করে, ফলে KI-এর বর্ণহীন দ্রবণ বাদামি বর্ণে পরিণত হয়। $2KI + 2HCl + O_3 = I_2 + 2KCl + O_2 + H_2O$

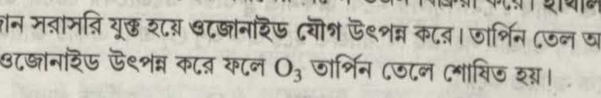
(e) সোডিয়াম বা পটাশিয়াম নাইট্রাইট বা **অ্যামোনিয়াম নাইট্রাইট** জারিত হয়ে নাইট্রেটে পরিণত হয়।

$$NaNO_2 + O_3 = NaNO_3 + O_2 \qquad NH_4NO_2 + O_3 = NH_4NO_3 + O_2$$

নাইট্রাস অ্যাসিড জারিত হয়ে **নাইট্রিক অ্যাসিডে পরিণত হয়।**

$$HNO_2 + O_3 = HNO_3 + O_2$$

(3) যুত যৌগ উৎপাদন ঃ অনেক জৈব পদার্থের সঙ্গে ওজন বিক্রিয়া করে। **ইথিলিন, অ্যাসিটিলিন** প্রভৃতি অসম্পৃক্ত জৈব যৌগের সঙ্গে ওজোন সরাসরি যুক্ত হয়ে **ওজোনাইড যৌগ** উৎপন্ন করে। তার্পিন তেল অসম্পৃক্ত জৈব যৌগ, তাই O_3-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় যুতযৌগ ওজোনাইড উৎপন্ন করে ফলে O_3 তার্পিন তেলে শোষিত হয়।



ইথিলিন ... ইথিলিন ওজোনাইড

$$\underset{\text{অ্যাসিটিলিন}}{C_2H_2} + O_3 = \underset{\text{অ্যাসিটিলিন ওজোনাইড}}{C_2H_2O_3}$$

রবারের মধ্যে অসম্পৃক্ততা থাকে তাই রবারের সঙ্গে সহজেই O_3-এর বিক্রিয়া হয় ফলে রবারের স্থিতিস্থাপকতা লোপ পায়।

(4) বিজারণ ক্রিয়া ঃ হাইড্রোজেন পারঅক্সাইড, বেরিয়াম পারক্সাইড, সিলভার অক্সাইড লেড ডাইঅক্সাইড প্রভৃতি ওজোন দ্বারা বিজারিত হয়ে যথাক্রমে **জল, বেরিয়াম অক্সাইড, ধাতব Ag এবং লেড মনোক্সাইডে পরিণত হয়।**

$$H_2\overset{-1}{O_2} + O_3 = H_2\overset{-2}{O} + 2O_2 \qquad Ba\overset{-1}{O_2} + O_3 + Ba\overset{-2}{O} + 2O_2\uparrow$$

$$\overset{+1}{Ag_2}O + O_3 + 2\overset{0}{Ag} + 2O_2$$

[ওজোনের সঙ্গে BaO_2 বা H_2O_2-এর বিক্রিয়ায়, পারঅক্সো গ্রুপের অক্সিজেন পরমাণু জারিত হয়ে মুক্ত O_2-তে পরিণত হয় অর্থাৎ BaO_2 বা H_2O_2-এর পারঅক্সো গ্রুপের O পরমাণুর জারণ সংখ্যা –1 থেকে বেড়ে শূন্য হয়। অপরদিকে O_3-এর একটি O পরমাণু নিজের জারণ সংখ্যা শূন্য থেকে –2-তে কমিয়ে বিজারিত হয়ে BaO বা H_2O-তে পরিণত হয়। O_3-অণুর অপর দুটি O পরমাণুর জারণ সংখ্যার কোনো পরিবর্তন হয় না ফলে মুক্ত O_2 রূপে নির্গত হয়।

$$Ba\overset{-1}{O_2} + [\overset{0}{O} + \overset{0}{O_2}] = Ba\overset{-2}{O} + \overset{0}{O_2} + \overset{0}{O_2}$$

(বিজারণ: $[O]$ → BaO; জারণ: BaO_2 → O_2)

আসলে ওজোন জারকরূপে এবং H_2O_2 অথবা BaO_2 বিজারক রূপে ক্রিয়া করে। এই বিক্রিয়া দ্বারা প্রমাণিত হয় যে H_2O_2-এর চেয়ে O_3 আরো শক্তিশালী জারক।]

(5) অ্যাসিডযুক্ত পটাশিয়াম পারম্যাঙ্গানেট দ্রবণের সঙ্গে ওজোনের কোনো বিক্রিয়া হয় না, ফলে বেগুনি রং-এর কোনো পরিবর্তন হয় না (H_2O_2-এর সঙ্গে পার্থক্য)।

(6) বিরঞ্জন ক্ষমতা (Bleaching property) ঃ ওজোন পদার্থকে বিরঞ্জন করে। ওজোন থেকে উৎপন্ন জায়মান অক্সিজেন উদ্ভিজ্জ রং, নীল প্রভৃতিকে বিরঞ্জন করে জারণ প্রক্রিয়ার দ্বারা।

$$O_3 = O_2 + O\text{ (জায়মান)}$$

$$\text{রঙিন পদার্থ} \xrightarrow[\text{জারণ}]{(O)} \text{বিরঞ্জিত পদার্থ}$$

1.39. ওজোনের ব্যবহার [Uses of Ozone]

(i) ব্যাকটিরিয়ার উপর ওজোনের ক্রিয়া মারাত্মক, সেইজন্য জল এবং বাতাস জীবাণুমুক্ত করতে ওজোন ব্যবহৃত হয়। **(ii)** তেল, মোম, স্টার্চ, হাতির দাঁত প্রভৃতি বিরঞ্জনের জন্য ওজোন ব্যবহৃত হয়। **(iii)** পরীক্ষাগারে অনেক জৈব পদার্থকে জারিত করার জন্য এবং গঠন নির্ণয় করার জন্য ওজোন ব্যবহার করা হয়। **(iv)** সিনেমা হল, খনি, টানেল এবং টিউব রেলপথের বাতাস শোধন করার কাজে O_3 ব্যবহার করা হয়। **(v)** ওজোন গ্যাসের তাপ শোষণ ক্ষমতা অন্যান্য গ্যাসের চেয়ে বেশি, তাই পৃথিবীর বায়ুমণ্ডলের ওজোন গ্যাস স্তর, সূর্য থেকে আসা অতি বেগুনি রশ্মিকে শোষণ করে নেয়, ফলে ওই রশ্মি পৃথিবীর বুকে এসে পৌঁছতে পারে না। এই রশ্মি জীবজগতের পক্ষে ক্ষতিকারক। সুতরাং এই ওজোন গ্যাসের স্তর সূর্যের এই ক্ষতিকারক রশ্মি থেকে পৃথিবীকে রক্ষা করে। **(vi)** কৃত্রিম সিল্ক শিল্পে, কর্পূর প্রস্তুতিতে ওজোনের ব্যবহার আছে।

● প্রমাণ করো যে ওজোন এবং অক্সিজেন একই মৌলের রূপভেদ মাত্র ঃ

(i) ওজোন গ্যাসকে MnO_2 বা সিলভার চূর্ণের উপস্থিতিতে উত্তপ্ত করা হল, এর ফলে গৃহীত ওজোন গ্যাসটি সম্পূর্ণভাবে বিয়োজিত হয়ে বর্ণহীন এবং গন্ধহীন একটি গ্যাসে পরিণত হয়। এইভাবে উৎপন্ন গ্যাসটির মধ্যে স্টার্চ পটাশিয়াম আয়োডাইড দ্রবণে সিক্ত ফিলটার কাগজ ধরলে, কাগজটির বর্ণ নীল হয় না—এর দ্বারা প্রমাণিত হল যে, উৎপন্ন গ্যাসের মধ্যে O_3 নেই। উৎপন্ন গ্যাসটির মধ্যে একটি শিখাহীন পাটকাঠি ধরলে তা শিখা উৎপন্ন করে জ্বলে ওঠে এবং এই গ্যাস ক্ষারীয় পাইরোগ্যালেট দ্রবণে সম্পূর্ণভাবে শোষিত হয়। এর দ্বারা প্রমাণিত হয় যে O_3-এর বিয়োজনে উৎপন্ন গ্যাসটি অক্সিজেন ছাড়া আর কিছু নয়।

(ii) এইভাবে প্রাপ্ত অক্সিজেনকে সম্পূর্ণ শুষ্ক করে উপযুক্ত যন্ত্রের মধ্যে রেখে গ্যাসটির মধ্যে নিঃশব্দ তড়িৎক্ষরণ করলে যে গ্যাস উৎপন্ন হল দেখা গেল যে ওই গ্যাসটি ক্ষারীয় পাইরোগ্যালেট দ্রবণে শোষিত হয় না কিন্তু গ্যাসটির মধ্যে স্টার্চ পটাশিয়াম আয়োডাইড দ্রবণে সিক্ত ফিলটার কাগজ ধরলে নীল হয়ে যায়। এর দ্বারা প্রমাণিত হল যে গ্যাসটি ওজোন।

$$3O_2 \longrightarrow 2O_3$$

$$2KI + H_2O + O_3 = 2KOH + I_2 + O_3$$

$$\text{স্টার্চ} + I_2 \longrightarrow \text{নীল বর্ণ ধারণ করে}$$

সুতরাং দেখা গেল O_2 এবং O_3 প্রত্যেকেই ভরের কোনো পরিবর্তন না করে একে অন্যটিতে পরিবর্তিত হতে পারে। সুতরাং এর দ্বারা এই সিদ্ধান্ত করা যায় যে ওজোন এবং অক্সিজেন একই মৌলের রূপভেদ মাত্র—শুধু ওদের অণুর গঠনে পার্থক্য থাকে—অক্সিজেন হল দ্বিপরমাণুক এবং ওজোন হল ত্রিপরমাণুক।

$$3O_2 \underset{\text{উত্তপ্ত } MnO_2 \text{ বা Ag চূর্ণ সহ}}{\overset{\text{নিঃশব্দ তড়িৎক্ষরণ}}{\rightleftharpoons}} 2O_3$$

● H_2O_2, O_3 এবং O_2 ধর্মের তুলনা :

ধর্ম	হাইড্রোজেন পারক্সাইড	ওজোন	অক্সিজেন
(1) স্থায়িত্ব	ধীরে ধীরে বিয়োজিত হয়ে জল এবং অক্সিজেন দেয়। $2H_2O_2 = 2H_2O + O_2$	ধীরে ধীরে বিয়োজিত হয়ে অক্সিজেন দেয়। $2O_3 \rightleftharpoons 3O_2$	স্থায়ী
(2) পারদের সঙ্গে ক্রিয়া	কোনো বিক্রিয়া হয় না।	Hg_2O-তে পরিণত হয়, তাই পারদের গতিশীলতা নষ্ট হয়, ফলে কাচের উপর পারদ আটকে যায়।	সাধারণ উষ্ণতায় বিক্রিয়া করে না তবে উচ্চ উষ্ণতায় লাল বর্ণের HgO-তে জারিত করে।
(3) জারণ-ধর্ম	শক্তিশালী জারক, আম্লিক KI দ্রবণ থেকে I_2 মুক্ত করে।	শক্তিশালী জারক, KI দ্রবণকে জারিত করে I_2 মুক্ত করে।	জারক—বেশির ভাগ ধাতু ও অধাতুকে উচ্চ উষ্ণতায় জারিত করে।
(4) বিজারণ-ধর্ম	বিজারণ করে, আম্লিক $KMnO_4$ দ্রবণকে বিজারিত করে বর্ণহীন ম্যাঙ্গানাস লবণ উৎপন্ন করে।	বিজারণ করে, তবে $KMnO_4$ দ্রবণকে বিজারিত করে বর্ণহীন করতে পারে না।	বিজারণ ধর্ম নেই (ফ্লুওরিনের সাথে বিক্রিয়া ব্যতিক্রম)।
(5) বিরঞ্জন-ধর্ম	জারণ-ক্রিয়া দ্বারা উল, সিল্ক ইত্যাদি বিরঞ্জিত করে।	জারণ-ক্রিয়া দ্বারা উদ্ভিজ্জ রং নীল ইত্যাদি বিরঞ্জিত করে।	বিরঞ্জন ধর্ম নেই।
(6) যুতযৌগ গঠন	অজৈব যুতযৌগ গঠন করে। যেমন KF, H_2O_2	জৈব যুতযৌগ, যেমন ইথিলিন ওজোনাইড গঠন করে। $C_2H_4 + O_3 = C_2H_4O_3$	
(7) $FeSO_4$ যুক্ত KI দ্রবণ	I_2 মুক্ত করে।	I_2 মুক্ত করে না।	I_2 মুক্ত করে না।

● সালফার ●

চিহ্ন—S
পারমাণবিক গুরুত্ব—32·06
পারমাণবিক সংখ্যা—16
ইলেকট্রন বিন্যাস—$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$
জারণ সংখ্যা—(–2), (+1), (+2), (+4), (+6)

প্রাচীনকাল থেকেই আমাদের দেশে সালফারের ব্যবহার চলে আসছে। সিন্ধু-সভ্যতার যুগেও ভারতে চিকিৎসায় ও নানা শিল্পে সালফারের ব্যবহার হতো। বাইবেলে সালফারকে ব্রিমস্টোন অথবা জ্বলন্ত পাথর বলা হয়েছে। 1877 খ্রীস্টাব্দে ল্যাভয়সিয়ে প্রথম সালফার-এর ধর্মাবলী পর্যালোচনা করে একে মৌলরূপে প্রমাণ করেন।

1.40. সালফারের প্রাকৃতিক উৎস [Natural Sources of Sulphur]

পৃথিবীপৃষ্ঠের 0·034% উপাদান সালফার ঘটিত খনিজ। প্রকৃতির মধ্যে সালফারকে মুক্ত অবস্থায় পাওয়া যায়। বিশেষ করে আগ্নেয়গিরি অঞ্চলে সালফার পাওয়া যায় বেশি। **ইটালির সিসিলিতে, জাপানে, আমেরিকার টেক্সাসে** এবং **লুইসানা** অঞ্চলে প্রচুর পরিমাণে মুক্ত অবস্থায় সালফার পাওয়া যায়। পৃথিবীর 80% সালফার আমেরিকায় বর্তমান। ধাতব সালফাইড ও সালফেট রূপেও প্রকৃতির মধ্যে সালফার পাওয়া যায়, যেমন—

(1) **আয়রন পাইরাইটিস** (Iron pyrites), FeS_2
(2) **কপার পাইরাইটিস** (Copper pyrites), Cu_2S, Fe_2S_3
(3) **গ্যালেনা** (Galena), PbS
(4) **জিঙ্ক ব্লেন্ড** (Zinc blend), ZnS
(5) **জিপসাম** (Gypsum), $CaSO_4, 2H_2O$
(6) **কাইসেরাইট** (Kisserite), $MgSO_4, H_2O$

● **সালফারের আইসোটোপ** (Isotopes of Sulphur) :

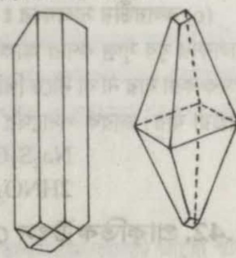
প্রকৃতির মধ্যে সালফারের চারটি আইসোটোপ পাওয়া যায়—প্রকৃতির মধ্যে প্রাপ্ত বিভিন্ন আইসোটোপগুলির প্রাচুর্যের শতকরা পরিমাণ হল—(1) S^{32} (98·00), (2) S^{33} (0·74), (3) S^{34} (4·18), (4) S^{36} (0·016)।

1.41. সালফারের বহুরূপতা [Allotrophy of Sulphur]

কার্বন, ফসফরাসের মতো সালফারের বহুরূপতা আছে; রূপভেদগুলির রাসায়নিক ধর্মে বিশেষ পার্থক্য না থাকলেও, ভৌত ধর্মে অনেক পার্থক্য দেখা যায়। সালফারের প্রধান রূপভেদগুলি নীচে দেওয়া হল—

(i) নিয়তাকার ঃ (a) রম্বিক সালফার, (b) মনোক্লিনিক বা প্রিজম্যাটিক সালফার ও (c) নেক্রিয়াস সালফার।

(ii) অনিয়তাকার ঃ (a) প্লাস্টিক বা নমনীয় সালফার, (b) দুগ্ধ-শ্বেত সালফার ও (c) কলয়ডীয় সালফার।



চিত্র 1.21 ঃ রম্বিক সালফার

(i) নিয়তাকার সালফার ঃ (a) রম্বিক সালফার ঃ সাধারণ অবস্থায় যে হলুদ রং-এর সালফার পাওয়া যায়, তাকেই রম্বিক সালফার বলে। **এর কেলাস তলের সংখ্যা আট।** সাধারণ উষ্ণতায় রেখে দিলে অন্যান্য রূপভেদগুলি রম্বিক সালফারে পরিণত হয়।

রম্বিক সালফারের আপেক্ষিক গুরুত্ব 2·06, জলে অদ্রাব্য, কোহল ও ইথারে সামান্য দ্রাব্য, **কার্বন ডাইসালফাইড, সালফার ক্লোরাইড, উত্তপ্ত বেঞ্জিন ও তার্পিন তেলে** যথেষ্ট দ্রাব্য। রম্বিক সালফারকে ধীরে ধীরে উত্তপ্ত করলে 96·5ºC উষ্ণতায় মনোক্লিনিক সালফারে পরিণত হয়। তাড়াতাড়ি উত্তপ্ত করলে 112·8ºC উষ্ণতায় গলে যায়। এই সালফার তাপ ও বিদ্যুতের অপরিবাহী।

(b) মনোক্লিনিক বা প্রিজম্যাটিক সালফার ঃ রম্বিক সালফারকে 96·5ºC-এর বেশি উষ্ণতায় রেখে দিলে মনোক্লিনিক সালফারে পরিণত হয়।



চিত্র 1.22 ঃ মনোক্লিনিক সালফার

রম্বিক সালফারের চূর্ণকে একটি বেসিনে রেখে গলানো হলে, 119·5ºC উষ্ণতায় গলে হলুদ তরলে পরিণত হয়। এই তরলটিকে ধীরে ধীরে ঠান্ডা করলে উপরে সরের মতো একটা আস্তরণ পড়ে। এই অবস্থায় সরের উপর দুটি ছিদ্র করে ভিতরের তরল পদার্থ আস্তে আস্তে ঢেলে বের করে নিলে বেসিনের গায়ে সূচের মতো লম্বা স্বচ্ছ হলুদ রং-এর কেলাস পাওয়া যায়। একেই মনোক্লিনিক সালফার বলে।

মনোক্লিনিক সালফারের আপেক্ষিক গুরুত্ব 1·96, **কার্বন ডাইসালফাইডে দ্রাব্য।** মনোক্লিনিক সালফার স্বচ্ছ, ভঙ্গুর, মোমের মতো হলুদ বর্ণের কেলাসিত পদার্থ। **এর প্রত্যেক অণুতে আটটি সালফার পরমাণু (S_8) থাকে।**

● রম্বিক সালফার এবং মনোক্লিনিক সালফারের মধ্যে পারস্পরিক রূপান্তর ঃ

রম্বিক সালফারের উষ্ণতা 96·5ºC-এর বেশি হলেই, রম্বিক সালফার মনোক্লিনিক সালফারে পরিণত হয়। আবার মনোক্লিনিক সালফারের উষ্ণতা 96·5ºC-র কম হলে, মনোক্লিনিক সালফার রম্বিক-সালফারে পরিণত হয়, অর্থাৎ এই রূপান্তর উভমুখী।

$$\boxed{\text{রম্বিক সালফার}} \underset{96\cdot5^\circ C\text{-র কম}}{\overset{96\cdot5^\circ C\text{-এর বেশি}}{\rightleftharpoons}} \boxed{\text{মনোক্লিনিক সালফার}}$$

(c) নেক্রিয়াস সালফার (Nacreous sulphur) ঃ উত্তপ্ত বেঞ্জিন বা টলুইনে সালফার দ্রবীভূত করে, দ্রবণটিকে তাড়াতাড়ি ঠান্ডা করলে মুক্তার মতো উজ্জ্বল সাদা সালফারের কেলাস পাওয়া যায়; একেই নেক্রিয়াস সালফার বলে। এই রূপভেদটিও অস্থায়ী—ধীরে ধীরে রম্বিক সালফারে পরিণত হয়।

(ii) অনিয়তাকার সালফার ঃ (a) প্লাস্টিক সালফার ঃ ফুটন্ত এবং গলিত সালফারকে যদি একটি বিকারের মধ্যে রাখা ঠান্ডা জলের মধ্যে সুতোর আকারে ঢেলে দেওয়া হয়, তাহলে রবারের মতো নমনীয় সালফারের একটি রূপভেদ পাওয়া যায়, একে **প্লাস্টিক সালফার** বলে।

প্লাস্টিক সালফার অনিয়তাকার, **টানলে রবারের মতো লম্বা হয়,** সেজন্যই এর নাম প্লাস্টিক সালফার। **কার্বন ডাইসালফাইডে এই রূপভেদটি দ্রাব্য নয়।** সাধারণ উষ্ণতায় রেখে দিলে ধীরে ধীরে রম্বিক সালফারে রূপান্তরিত হয়। আপেক্ষিক গুরুত্ব 1·95.

(b) শ্বেত সালফার ঃ সালফারকে ফুটালে যে বাষ্প উৎপন্ন হয়, সেই বাষ্প শীতল গ্রাহকের দেয়ালের সংস্পর্শে এসে ছোটো ছোটো ফুলের মতো আকারে ঘনীভূত হয়, একে 'ফ্লাওয়ার অফ্ সালফার' বলে।

ফ্লাওয়ার অফ্ সালফারকে **কার্বন ডাইসালফাইডে দ্রবীভূত করলে এর এক অংশ অদ্রাব্য থেকে যায়।** এই অদ্রাব্য অংশটির রং সাদা ও অনিয়তাকার। একেই শ্বেত সালফার বলে।

আর একরকম শ্বেত সালফার তৈরি করা যায়। একে 'মিল্ক অফ্ সালফার' বলে। **কলিচুন ও সালফার চূর্ণ জলের সঙ্গো মিশিয়ে একসঙ্গো ফুটালে লাল রং-এর একটি দ্রবণ উৎপন্ন হয়।** এই দ্রবণে ক্যালশিয়াম পলি-সালফাইড ও থায়োসালফেট থাকে। অপরিবর্তিত চুন ও সালফার থেকে পৃথক করে পরিস্রুতের সঙ্গো **লঘু হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড যোগ করলে সাদা দুধের মতো মিল্ক অফ্ সালফার উৎপন্ন হয়।** এই সালফার CS_2-তে দ্রাব্য।

(c) কলয়ডীয় সালফার ঃ রম্বিক সালফারকে অ্যালকোহলে দ্রবীভূত করে দ্রবণটিকে ঠান্ডা জলের মধ্যে ঢেলে দিলে, ওর মধ্যে সালফার খুব সূক্ষ্ম কণার আকারে দ্রবণ থেকে বেরিয়ে আসে, জলের রং ঘোলা হয়ে যায়। কণাগুলি এত ছোটো যে ফিলটার করে পৃথক করা যায় না বা নীচে থিতিয়ে পড়ে না। সোডিয়াম থায়োসালফেটের পাতলা দ্রবণে অ্যাসিড যোগ করলে কলয়ডীয় সালফার পাওয়া যায়। জারক পদার্থের দ্রবণে H_2S চালনা করেও কলয়ডীয় সালফার পাওয়া যায়।

$$Na_2S_2O_3 + H_2SO_4 = Na_2SO_4 + H_2O + S\downarrow + SO_2$$
$$2HNO_3 + H_2S = 2NO_2 + 2H_2O + S\downarrow$$

1.42. প্রাকৃতিক উৎস থেকে সালফার নিষ্কাশন [Isolation of Sulphur from natural resources]

(1) ফ্রাস পদ্ধতি (Frasch process) ঃ আমেরিকায় ভূ-পৃষ্ঠের প্রায় সাত-আট-শ' ফুট নীচে বালি, মাটি, চুনাপাথরের স্তরের নীচে মুক্ত অবস্থায় সালফার পাওয়া যায়। ভূ-পৃষ্ঠ থেকে বিভিন্ন ব্যাসের তিনটি সম-কেন্দ্রিক নল বালি, মাটি ও চুনাপাথর স্তর ভেদ করে সালফার স্তর পর্যন্ত প্রবেশ করানো হয়। সবচেয়ে বাইরে নলের (1 নং নল) মধ্য দিয়ে 180°C উষ্ণতায় অতি তপ্ত জল প্রায় 35 বায়ুমণ্ডল চাপে ভিতরে পাঠানো হয়। অতি তপ্ত জলের সংস্পর্শে কঠিন সালফারের স্তর গলে যায়। এরপর কেন্দ্রের নলটির (3 নং নল) ভিতর দিয়ে উচ্চ চাপে বাতাস পাঠানো হয়, এর ফলে গলিত সালফার মাঝের 2 নং নলের ভিতর দিয়ে ভূ-পৃষ্ঠের বাইরে উঠে আসে, গলিত সালফারকে কাঠের ছাঁচের মধ্যে ঢালা হয়। এই সালফার প্রায় 99·5%-99·8% বিশুদ্ধ। পৃথিবীতে উৎপাদিত সালফারের প্রায় 19% এই পদ্ধতি দ্বারা তৈরি করা হয়।



চিত্র 1.23 ঃ ফ্রাস পদ্ধতিতে সালফারের নিষ্কাশন

(2) বিভিন্ন উপজাত পদার্থ থেকে সালফার প্রস্তুতি ঃ যে সব দেশে সালফারকে মুক্ত অবস্থায় পাওয়া যায় না সেই সব দেশে সালফারের চাহিদা মেটাবার জন্য সালফার ঘটিত যৌগ থেকে সালফার উদ্ধার করে বিভিন্ন কাজে লাগানো হয়।

(i) কোলগ্যাস উৎপাদনে পাওয়া **নিঃশেষিত আয়রন অক্সাইড** অর্থাৎ বিক্রিয়া শেষে প্রাপ্ত Fe_2S_3 থেকে, **(ii)** প্রকৃতিতে পাওয়া বিভিন্ন **সালফাইড আকরিক থেকে (iii)** প্রকৃতিতে পাওয়া **জিপসাম খনিজ থেকে** সালফার উদ্ধার করা হয়।

(a) নিঃশেষিত আয়রন অক্সাইড থেকে ঃ কোলগ্যাস প্রস্তুতির সময় নিঃশেষিত আয়রন অক্সাইডকে বিশোধক প্রকোষ্ঠের মধ্যে উপজাত দ্রব্যরূপে পাওয়া যায়। নিঃশেষিত আয়রন অক্সাইডকে (আয়রন সালফাইড) খোলা বাতাসে ছড়িয়ে দেওয়া হয় ও মাঝে মাঝে নেড়ে দেওয়া হয়, এর ফলে আয়রন সালফাইড বাতাসের অক্সিজেনের সঙ্গো যুক্ত হয়ে আয়রন অক্সাইডে পরিণত হয় এবং সালফার মুক্ত হয়। এই আয়রন অক্সাইডকে আবার বিশোধক প্রকোষ্ঠে ব্যবহার করা হয়।

$$2Fe_2S_3 + 3O_2 \text{ (বায়ু)} = 2Fe_2O_3 + 6S$$

(b) সালফাইড আকরিক থেকে ঃ ধাতু-নিষ্কাশনের সময় সালফাইড আকরিকগুলির (কপার পাইরাইটিস, জিঙ্ক ব্লেন্ড, গ্যালেনা) তাপ-জারণের সময় প্রচুর SO_2 গ্যাস পাওয়া যায়। ঠান্ডা সোডিয়াম সালফাইট দ্রবণে এই SO_2-কে শোষিত করা হয়, ফলে সোডিয়াম বাই-সালফাইট উৎপন্ন হয়। সোডিয়াম বাই-সালফাইটকে উত্তপ্ত করলে বিশুদ্ধ SO_2 গ্যাস নির্গত হয়। এই SO_2-কে শ্বেততপ্ত কোকের উপর দিয়ে চালনা করলে SO_2 বিজারিত হয়ে সালফারে পরিণত হয়।

$$\underset{\text{(জিঙ্ক ব্লেন্ড)}}{2ZnS} + 3O_2 \xrightarrow[\text{তাপজারণ}]{} 2ZnO + 2SO_2\uparrow$$

$$Na_2SO_3 + SO_2 + H_2O = 2NaHSO_3 \qquad 2NaHSO_3 = Na_2SO_3 + SO_2\uparrow + H_2O$$
$$SO_2 + C = S + CO_2$$

(c) জিপসাম থেকে ঃ জিপসামের সঙ্গো সিলিকা (বালি), কোক প্রভৃতি মিশিয়ে 1400°C উষ্ণতায় একটি চুল্লির মধ্যে উত্তপ্ত

করলে SO_2 গ্যাস বেরিয়ে আসে। উৎপন্ন SO_2-কে প্রথমে ক্ষারীয় অ্যালুমিনিয়াম সালফেট দ্বারা শোষিত করে পরে এই অ্যালুমিনিয়াম সালফেটের আর্দ্রবিশ্লেষণ করলে আবার SO_2 নির্গত হয়। এই SO_2-কে শ্বেততপ্ত কোক দ্বারা বিজারিত করে সালফার উৎপন্ন করা হয়।

1.43. সালফারের ধর্ম [Properties of Sulphur]

(A) ভৌতধর্ম ঃ (i) সালফার অধাতু, হালকা হলুদ রং-এর কঠিন পদার্থ। **(ii)** সালফার ভঙ্গুর, তাপ ও বিদ্যুতের অপরিবাহী। **(iii)** সালফার জলে অদ্রাব্য, কিন্তু কার্বন ডাইসালফাইডে দ্রাব্য। প্লাস্টিক সালফার CS_2-তে অদ্রাব্য। **(iv)** সালফারের বহুরূপতা ধর্ম আছে। **(v)** সাধারণ সালফারের গলনাঙ্ক 112·8ºC এবং স্ফুটনাঙ্ক 444·6ºC, **(vi)** বাষ্প ঘনত্ব থেকে পাওয়া যায় যে সালফার অণুর সংকেত S_8। তাপ প্রয়োগ করলে এই অণু বিয়োজিত হয়ে ক্রমশ সরলতর অণুতে পরিণত হয়।

● **সালফারের উপর তাপের প্রভাব ঃ**

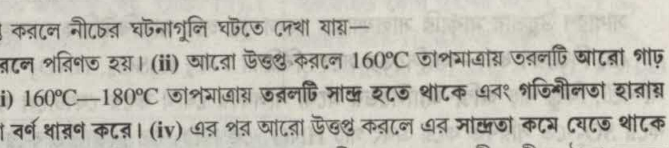
একটি বন্ধ পাত্রে সালফারকে ধীরে ধীরে উত্তপ্ত করলে নীচের ঘটনাগুলি ঘটতে দেখা যায়—

(i) 118ºC—119ºC তাপমাত্রায় **হলুদ বর্ণের তরলে** পরিণত হয়। **(ii)** আরো উত্তপ্ত করলে 160ºC তাপমাত্রায় তরলটি **আরো গাঢ় হয়** এবং **গাঢ় কমলা বর্ণের** তরলে পরিণত হয়। **(iii)** 160ºC—180ºC তাপমাত্রায় **তরলটি সান্দ্র হতে থাকে** এবং **গতিশীলতা হারায়** এবং 230ºC উষ্ণতায় এর **সান্দ্রতা বেড়ে গিয়ে কালো বর্ণ ধারণ করে। (iv)** এর পর আরো উত্তপ্ত করলে এর **সান্দ্রতা কমে যেতে থাকে** এবং **444·6ºC** তাপমাত্রায় ফুটতে শুরু করে এবং **হলুদ বাষ্পে পরিণত হতে থাকে। (v)** বাষ্পীয় সালফারকে ধীরে ধীরে ঠান্ডা করলে আগের প্রতিটি ধাপ আবার ঘটতে থাকে।

কারণ ব্যাখ্যা ঃ সালফারের এই অস্বাভাবিক ব্যবহারটি ওর আণবিক গঠনের জন্য ঘটে। সাধারণ উষ্ণতায় সালফার অণুর মধ্যে 8টি পরমাণু পরস্পরের সঙ্গে সমযোজী এক বন্ধন দ্বারা যুক্ত হয়ে আঁকা-বাঁকা শৃঙ্খল গঠন করে বলয়ের আকারে অবস্থান করে। গলনাঙ্কের একটু বেশি তাপমাত্রায় এই বলয় আকারের অণুগুলি একটির উপর দিয়ে আরেকটি অণু পিছলে যেতে পারে, তাই এই অবস্থায় তরল সালফার গতিশীলতা লাভ করে। 160ºC উষ্ণতায় উপরে সালফারের বলয়াকার অণুগুলি ভেঙে লম্বা শৃঙ্খলাকার অণুতে পরিণত হতে থাকে এবং 250ºC উষ্ণতায় এই ভাঙন সম্পূর্ণ হয়। এই পরিবর্তনটি গলিত সালফারের বর্ণ গাঢ়তর হওয়ার ঘটনা দ্বারা প্রকাশ পায়। যেহেতু অনেক বেশি শৃঙ্খল উৎপন্ন হয়, এই শৃঙ্খল অণুগুলি পরস্পর যুক্ত হয়ে সালফার পরমাণু দ্বারা গঠিত বিরাট শৃঙ্খল উৎপন্ন হয়। এর ফলে গলিত সালফার সান্দ্র অবস্থায় আসে এবং গতিশীলতা হারায়। আরো বেশি উষ্ণতায় লম্বা সালফার অণুর শৃঙ্খলগুলি ভেঙে ছোটো ছোটো অংশে পরিণত হতে থাকে, ফলে সালফার আবার তরল হয়ে গতিশীলতা লাভ করে।

● **সালফারের গঠন সংকেত ঃ** সাধারণ উষ্ণতায় রম্বিক এবং মনোক্লিনিক সালফারের আণবিক সঙ্কেত S_8, এই অণুর গঠন হল আঁকা-বাঁকা শৃঙ্খল দ্বারা গঠিত বলয়ের আকার।

250ºC উষ্ণতার উপরে S শৃঙ্খল ভাঙতে শুরু করে এবং উষ্ণতা বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে S_6, S_4 এবং S_2 অণুতে পরিণত হয়। 2000ºC উষ্ণতায় সরল অণু S-এ পরিণত হয়।



চিত্র 1.24 ঃ সালফার অণুর গঠন

$$S_8 \xrightarrow{900^\circ C} S_2 \xrightarrow{2000^\circ C} S$$

(B) রাসায়নিক ধর্ম ঃ সাধারণ উষ্ণতায় সালফার নিষ্ক্রিয় কিন্তু উত্তপ্ত অবস্থায় সালফার খুব সক্রিয় হয় এবং অনেক মৌলের সঙ্গে সালফার সরাসরি যুক্ত হয়ে সালফার যৌগ গঠন করে।

(1) অধাতুর সঙ্গে বিক্রিয়া ঃ (i) সালফার নিজে দাহ্য কিন্তু দহনে সাহায্য করে না। বাতাস বা অক্সিজেনের মধ্যে সালফারকে উত্তপ্ত করলে সালফার গলে যায় ও নীল শিখা সহ জ্বলে সালফার ডাইঅক্সাইড ও সালফার ট্রাইঅক্সাইডে পরিণত হয়।

$$S + O_2 = SO_2 \quad ; \quad 2S + 3O_2 = 2SO_3$$

(ii) উত্তপ্ত ঝামা পাথরের উপর দিয়ে **সালফার-বাষ্প** এবং **হাইড্রোজেন** গ্যাসের মিশ্রণ চালনা করলে পচা ডিমের গন্ধযুক্ত **হাইড্রোজেন সালফাইড** উৎপন্ন হয়। $H_2 + S = H_2S$

(iii) ফুটন্ত সালফারের মধ্য দিয়ে Cl_2 চালনা করলে কমলা রং-এর তরল **সালফার মনোক্লোরাইড** উৎপন্ন হয়।

$$2S + Cl_2 = S_2Cl_2$$

(iv) শ্বেততপ্ত কার্বনের উপর দিয়ে সালফার-বাষ্প চালনা করলে **কার্বন ডাইসালফাইড** উৎপন্ন হয়। ফসফরাস, ফ্লুওরিন ও আর্সেনিকের সঙ্গে সালফার যুক্ত হয়ে যথাক্রমে **ফসফরাস পেন্টাসালফাইড, সালফার হেক্সাফ্লুওরাইড এবং আর্সেনিক ট্রাই-সালফাইড** উৎপন্ন হয়।

$$C + 2S = CS_2 \quad ; \quad S + 3F_2 = SF_6$$
$$10S + P_4 = 2P_2S_5 \quad ; \quad 3S + 2As = As_2S_3$$

(2) ধাতুর সঙ্গে বিক্রিয়া ঃ উত্তপ্ত কপার, আয়রন, জিঙ্ক প্রভৃতি ধাতুর সঙ্গে সালফার সোজাসুজি যুক্ত হয়ে **সালফাইড লবণ** উৎপন্ন করে।

$$Cu + S = CuS \quad ; \quad Fe + S = FeS$$

সালফার বাষ্পের মধ্যে সোডিয়াম বা পটাশিয়াম ধাতু প্রবেশ করালে আগুন ধরে যায় এবং ধাতুগুলির সালফাইড লবণ উৎপন্ন হয়।

$$2Na + S = Na_2S$$

সাধারণ উষ্ণতায় মার্কারি সালফারের সঙ্গে যুক্ত হয়ে **মারকিউরিক সালফাইড** উৎপন্ন করে। $Hg + S = HgS$

(3) বিজারণ ধর্ম—অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়া ঃ লঘু H_2SO_4, HNO_3 অথবা গাঢ় HCl-এর সঙ্গে সালফারের বিক্রিয়া হয় না বটে, **কিন্তু গাঢ় অক্সি-অ্যাসিডের মধ্যে সালফার যোগ করে ফোটালে সালফার জারিত হয়।** গাঢ় H_2SO_4-কে বিজারিত করে SO_2-তে পরিণত করে এবং গাঢ় HNO_3-কে NO_2-তে বিজারিত করে।

$$\overset{0}{S} + 2H_2\overset{+6}{S}O_4 = 3\overset{+4}{S}O_2 + 2H_2O$$

$$S + 6H\overset{+5}{N}O_3 = H_2SO_4 + 6\overset{+4}{N}O_2 + 2H_2O$$

(4) ক্ষারের সঙ্গে বিক্রিয়া ঃ গাঢ় ক্ষার দ্রবণে সালফার চূর্ণ ফোটালে **ধাতব সালফাইড ও থায়োসালফেট** উৎপন্ন হয়। সালফারের পরিমাণ বেশি থাকলে **পলি-সালফাইড** উৎপন্ন হয়।

$$4S + 6NaOH = 2Na_2S + Na_2S_2O_3 + 3H_2O$$
$$Na_2S + 4S = Na_2S_5$$
$$3Ba(OH)_2 + 12S = 2BaS_5 + BaS_2O_3 + 3H_2O$$

(বেরিয়াম পেন্টাসালফাইড)

(5) ক্ষার ধাতুর সালফাইট লবণের সঙ্গে সালফার ফোটালে **থায়োসালফেট** উৎপন্ন হয়। $Na_2SO_3 + S = Na_2S_2O_3$

(6) K_2CO_3 এবং S-এর মিশ্রণকে তাপ প্রয়োগে গলালে একটি বাদামি বর্ণের পদার্থ পাওয়া যায়। একে **লিভার অফ্ সালফার** বলে।

$$6S + 3K_2CO_3 = 2K_2S_2 + K_2S_2O_3 + 3CO_2\uparrow$$

1.44. সালফারের ব্যবহার [Uses of Sulphur]

(i) সালফিউরিক অ্যাসিডের শিল্প-প্রস্তুতিতে, নানা রকম সালফারের যৌগ তৈরি করতে, যেমন P_2S_5 (দেশলাই প্রস্তুতিতে), CS_2 (দ্রাবকরূপে), $Na_2S_2O_3$ (ফটোগ্রাফিতে), $CaSO_3$ (কাগজশিল্পে) সালফার ব্যবহৃত হয়।

(ii) বারুদ, মলম ও বিভিন্ন ওষুধ প্রস্তুতিতে সালফারের ব্যবহার আছে।

(iii) কীটনাশক পদার্থ হিসাবে চাষের কাজে সালফার ব্যবহৃত হয়।

(iv) আলট্রামেরিন নামক একপ্রকার অজৈব নীল রং প্রস্তুতিতে সালফার অপরিহার্য।

● **পর্যায় সারণিতে অক্সিজেন এবং সালফার একই শ্রেণি VIB-তে অবস্থান করলেও অক্সিজেন একটি গ্যাস এবং সালফার একটি কঠিন পদার্থ কেন?**

সাধারণ উষ্ণতায় সালফারের প্রধান রূপভেদ রম্বিক এবং মনোক্লিনিক সালফারের আণবিক সংকেত S_8. প্রতি অণুতে 8টি S পরমাণু পরস্পরের সঙ্গে সমযোজী এক বন্ধন দ্বারা যুক্ত হয়ে আঁকা-বাঁকা শৃঙ্খল গঠন করে বলয়ের আকারে অবস্থান করে। এই রকম অণুর আণবিক গুরুত্ব খুব বেশি, তাছাড়া প্রতি অণুর মধ্যস্থ আটটি পরমাণু পরস্পরকে তীব্রভাবে আকর্ষণ করে। আবার আণবিক গুরুত্ব বেশি হওয়ার জন্য অণুগুলির মধ্যে অবস্থিত ভ্যান্ডারওয়াল আকর্ষণ বলের মাত্রা খুব বেশি তাই সাধারণ উষ্ণতায় সালফার কঠিন।

অক্সিজেন দ্বিপরমাণুক, 2টি O পরমাণু পরস্পরের সঙ্গে সমযোজী দ্বি-বন্ধন দ্বারা যুক্ত হয়ে অক্সিজেন অণু উৎপন্ন করে। এই অণুগুলির মধ্যে পরস্পরের প্রতি ভ্যান্ডারওয়াল আকর্ষণ বল কম কারণ অক্সিজেনের আণবিক ওজন সালফার অপেক্ষা অনেক কম। তাই অণুগুলি পরস্পর থেকে বিচ্ছিন্ন অবস্থায় থাকে। সেজন্য অক্সিজেন সাধারণ উষ্ণতায় গ্যাস।

● অক্সিজেন এবং সালফারের ধর্মের তুলনা :

ধর্ম	অক্সিজেন	সালফার
(1) ইলেকট্রোনেগেটিভিটি	তীব্র ইলেকট্রোনেগেটিভ (3·5)।	কম ইলেকট্রোনেগেটিভ (2·5)।
(2) জারণ অবস্থা	প্রধানত (–2) এছাড়া (–1), (+2)।	প্রধানত (–2), (+4), (+6) এছাড়া (+1)।
(3) দহন ক্ষমতা	দাহ্য নয়, কিন্তু দহনে সাহায্য করে।	দাহ্য, বাতাসে জ্বলে SO_2 এবং SO_3 দেয়।
(4) হাইড্রাইড	দুটি—জল (H_2O) এবং হাইড্রোজেন পারক্সাইড (H_2O_2), H_2O প্রশম পদার্থ।	দুটি—হাইড্রোজেন সালফাইড (H_2S) এবং H_2S_2, H_2S মৃদু অ্যাসিড।
(5) ধাতুর সঙ্গে ক্রিয়া	প্রধানত ক্ষারকীয় অক্সাইড উৎপন্ন করে।	সালফাইড যৌগ উৎপন্ন করে।
(6) অধাতুর সঙ্গে ক্রিয়া	প্রধানত আম্লিক অক্সাইড দেয়, যেমন CO_2।	সালফাইড যৌগ উৎপন্ন করে CS_2, P_2S_5.
(7) HNO_3-এর সঙ্গে ক্রিয়া	কোনো বিক্রিয়া করে না।	জারিত হয়ে H_2SO_4-এ পরিণত হয়। $S + 6HNO_3 = H_2SO_4 + 6NO_2 + 2H_2O$

● হাইড্রোজেন সালফাইড ●

1.45. হাইড্রোজেন সালফাইডের পরীক্ষাগার প্রস্তুতি [Laboratory method of preparation of H_2S]

(A) নীতি (Principle) : সাধারণ উষ্ণতায় ফেরাস সালফাইডের সঙ্গে পাতলা সালফিউরিক অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় পরীক্ষাগারে হাইড্রোজেন সালফাইড গ্যাস উৎপন্ন করা হয়।

$$FeS + H_2SO_4 = FeSO_4 + H_2S \uparrow$$

(B) পদ্ধতি : দীর্ঘনল ফানেল ও নির্গম-নল যুক্ত একটি উল্ফ বোতলের মধ্যে ফেরাস সালফাইডের টুকরো নিয়ে দীর্ঘনল ফানেলের মধ্য দিয়ে সালফিউরিক অ্যাসিড (1 : 1) ঢেলে দেওয়া হয়। অ্যাসিডের সংস্পর্শে ফেরাস সালফাইড এলেই বিক্রিয়া শুরু হয়। FeS এবং H_2SO_4-এর বিক্রিয়ায় হাইড্রোজেন সালফাইড গ্যাস নির্গত হয়। এই গ্যাস নির্গম-নল দিয়ে বেরিয়ে আসে। শুষ্ক করার জন্য P_2O_5-পূর্ণ একটি U-টিউবের মধ্য দিয়ে গ্যাসটিকে চালনা করে নির্গম নলের শেষ প্রান্তটি খাড়া করা একটি শুষ্ক গ্যাসজারের মধ্যে প্রবেশ করানো হয়। যেহেতু H_2S গ্যাস বাতাসের চেয়ে ভারী, তাই বাতাসের ঊর্ধ্ব অপসারণ দ্বারা গ্যাসজারে H_2S জমা হয়।



চিত্র 1.25 : হাইড্রোজেন সালফাইড প্রস্তুতি

(C) বিশুদ্ধিকরণ : এইভাবে উৎপন্ন H_2S-এর মধ্যে **হাইড্রোজেন, জলীয় বাষ্প ও সামান্য অ্যাসিড বাষ্প** মেশানো থাকে। উল্ফ বোতল থেকে নির্গত H_2S-কে **সোডিয়াম হাইড্রোজেন সালফাইডের** (NaHS) সম্পৃক্ত দ্রবণের মধ্য দিয়ে চালনা করে **অ্যাসিড বাষ্পমুক্ত করা হয়।** এরপর গ্যাসটিকে P_2O_5-এর মধ্য দিয়ে চালনা করে **জলীয় বাষ্প মুক্ত করা হয়।** শুষ্ক গ্যাসকে **কঠিন কার্বন ডাইঅক্সাইড** (শুষ্ক বরফ) দিয়ে ঠান্ডা করলে H_2S তরল হয়ে যায় এবং H_2 গ্যাস বের হয়ে যায়। তরল H_2S-কে সাধারণ উষ্ণতায় আনলে বিশুদ্ধ H_2S গ্যাস পাওয়া যায়।

● **FeS-এর সঙ্গে নাইট্রিক অ্যাসিড অথবা গাঢ় H_2SO_4-এর বিক্রিয়ায় H_2S উৎপন্ন করা যায় না,** কারণ HNO_3 অথবা গাঢ় H_2SO_4-এর অ্যাসিড ধর্মের জন্য, FeS-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় H_2S উৎপন্ন হয় বটে, কিন্তু যেহেতু HNO_3 বা গাঢ় H_2SO_4 জারক অ্যাসিড তাই বিশ্লিষ্ট হয়ে জায়মান অক্সিজেন দেয়। এই জায়মান অক্সিজেন উৎপন্ন H_2S-কে জারিত করে S-এর অধঃক্ষেপ উৎপন্ন করে। এইজন্য HNO_3 বা গাঢ় H_2SO_4-এর সঙ্গে FeS-এর বিক্রিয়ায় H_2S পাওয়া যায় না।

$$FeS + 4HNO_3 = Fe(NO_3)_2 + 2NO_2 + S\downarrow + 2H_2O$$
$$FeS + 2H_2SO_4 = FeSO_4 + SO_2 + S\downarrow + 2H_2O$$

(i) H_2S-কে গাঢ় H_2SO_4 দ্বারা শুষ্ক করা যায় না কারণ, গাঢ় H_2SO_4 জারক অ্যাসিড,—সহজে বিশিষ্ট হয়ে জায়মান O দেয়—এই জায়মান অক্সিজেন H_2S-কে জারিত করে সালফারের অধঃক্ষেপ উৎপন্ন করে।

$$H_2SO_4 = H_2O + SO_2 + O \qquad H_2S + O = H_2O + S\downarrow$$

(ii) $CaCl_2$ দ্বারা H_2S-কে শুষ্ক করা যায় না কারণ, H_2S, $CaCl_2$ এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে ক্যালশিয়াম সালফাইডে পরিণত হয়।

$$CaCl_2 + H_2S = CaS + 2HCl$$

(iii) H_2S মৃদু আম্লিক, CaO ক্ষারীয় অক্সাইড। তাই H_2S-এর সঙ্গে CaO-এর বিক্রিয়া ঘটে CaS উৎপন্ন হয়। এইজন্য CaO দ্বারা H_2S-কে শুষ্ক করা যায় না। $CaO + H_2S = CaS + H_2O$

● **মার্কারির অপসারণ দ্বারা H_2S গ্যাসকে সংগ্রহ করা যায় না কারণ,** H_2S মার্কারির সঙ্গে বিক্রিয়া করে। বিশুদ্ধ H_2S-এর সঙ্গে অবশ্য Hg-এর বিক্রিয়া হয় না।

(iv) H_2S গ্যাসকে P_2O_5 ছাড়া অনার্দ্র Al_2O_3-এর উপর চালনা করেও শুষ্ক করা যায়।

● **হাইড্রোজেন সালফাইড প্রস্তুতির অন্যান্য উপায় ঃ**

(1) ধাতব সালফাইডের সঙ্গে লঘু HCl বা H_2SO_4-এর বিক্রিয়ায় হাইড্রোজেন সালফাইড প্রস্তুত করা যায়।

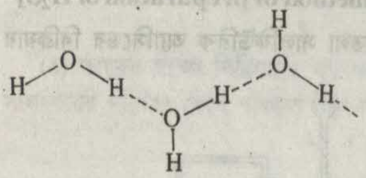
$$Na_2S + 2HCl = 2NaCl + H_2S \quad ; \quad CaS + H_2SO_4 = CaSO_3 + H_2S$$

(2) সংশ্লেষণ পদ্ধতি ঃ 450°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত **নিকেল চূর্ণের উপর দিয়ে হাইড্রোজেন এবং সালফার** বাষ্পের মিশ্রণ চালনা করলে হাইড্রোজেন সালফাইড উৎপন্ন হয়। $H_2 + S = H_2S$

1.46. হাইড্রোজেন সালফাইডের ধর্ম [Properties of Hydrogen Sulphide]

(A) ভৌত ধর্ম ঃ (i) হাইড্রোজেন সালফাইড পচা ডিমের মতো গন্ধযুক্ত বর্ণহীন গ্যাস। **(ii)** H_2S বাতাসের চেয়ে ভারী এবং **(iii)** ঠান্ডা জলে দ্রাব্য। **(iv)** গ্যাসটির বিষক্রিয়া আছে।

● **অক্সিজেনের হাইড্রাইড H_2O সাধারণ উষ্ণতায় তরল অথচ সালফারের হাইড্রাইড H_2S গ্যাস**—এর কারণ হল, S-এর চেয়ে O পরমাণুর আকার অনেক ছোটো এবং S পরমাণুর চেয়ে অনেক তীব্র ইলেকট্রোনেগেটিভ। এর ফলে জলের মধ্যে একটি H_2O অণুর H এবং অপর H_2O অণুর O-পরমাণুর মধ্যে হাইড্রোজেন বন্ধন সৃষ্টি হয়। এই বন্ধন দ্বারা H_2O অণুগুলি পরস্পরের সঙ্গে সংযোজিত অবস্থায় থাকে। এইভাবে উৎপন্ন অনেকগুলি H বন্ধনকে ভাঙতে অনেক শক্তির দরকার। সংযোজিত জলের অণুগুলির H বন্ধন ছিন্ন করে মনোমেরিক H_2O উৎপন্ন হয় 100°C তাপমাত্রায়। তাই 100°C-এর নীচে H_2O তরল। যেহেতু S একটি মৃদু ইলেকট্রোনেগেটিভ মৌল তাই H_2S-এর অণুগুলির মধ্যে H বন্ধন সৃষ্টি হয় না, এর ফলে H_2S অণুগুলি সংযোজিত অবস্থায় থাকে না—একক অণুরূপে অবস্থান করে এবং একটি অণু অপর একটি অণুকে দুর্বল ভ্যান্ডারওয়াল বল দ্বারা আকর্ষণ করে। তাই সাধারণ উষ্ণতায় H_2S একটি গ্যাস।



চিত্র 1.26 ঃ জলের অণুর H-বন্ধন

(B) রাসায়নিক ধর্ম ঃ (1) হাইড্রোজেন সালফাইড অন্য পদার্থকে দহনে সাহায্য করে না কিন্তু নিজে দাহ্য। অক্সিজেন বা বাতাসের মধ্যে নীল শিখায় জ্বলে SO_2 এবং স্টিম উৎপন্ন করে। $2H_2S + 3O_2 = 2H_2O + 2SO_2$

বাতাস বা অক্সিজেনের পরিমাণ কম থাকলে H_2S জ্বলে সালফার ও স্টিম উৎপন্ন করে।

$$2H_2S + O_2 = 2H_2O + 2S$$

● **H_2S দ্বারা সম্পৃক্ত জলকে খোলা বাতাসে রাখলে ঘোলা হয়ে যায়,** এর কারণ হল জলে দ্রবীভূত H_2S বাতাসের অক্সিজেন দ্বারা আংশিক জারিত হয়ে অদ্রাব্য সালফারের অধঃক্ষেপ উৎপন্ন করে ফলে জলটি ঘোলা হয়ে যায়।

$$2H_2S + O_2 = 2H_2O + 2S\downarrow$$

(2) অ্যাসিড ধর্ম ঃ হাইড্রোজেন সালফাইডের জলীয় দ্রবণ অ্যাসিডধর্মী—নীল লিটমাসকে লাল করে এবং ক্ষারকের সঙ্গে বিক্রিয়া করে লবণ ও জল উৎপন্ন করে। H_2S জলীয় দ্রবণে সামান্য আয়নিত হয়ে অল্পসংখ্যক H_3O^+ আয়ন উৎপন্ন করে। তাই H_2S-এর জলীয় দ্রবণ মৃদু অ্যাসিড। H_2S দ্বিক্ষারিক অ্যাসিড বলে দুই রকম লবণ—অ্যাসিড লবণ, হাইড্রো সালফাইড ও নর্ম্যাল লবণ, সালফাইড উৎপন্ন করে।

$$H_2S + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + HS^- \quad ; \quad NaOH + H_2S = NaHS + H_2O$$
$$HS^- + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + S^- \quad ; \quad 2NaOH + H_2S = Na_2S + 2H_2O$$

(3) ধাতুর সঙ্গে বিক্রিয়া ঃ হাইড্রোজেন সালফাইড অনেক ধাতুকে আক্রমণ করে ধাতব সালফাইড উৎপন্ন করে। গোল্ড বা প্ল্যাটিনাম H_2S দ্বারা আক্রান্ত হয় না।

$$2Ag + H_2S = \underset{\text{কালো}}{Ag_2S} + H_2 \quad ; \quad Pb + H_2S = PbS + H_2$$
$$Sn + H_2S = SnS + H_2 \quad ; \quad Hg + H_2S = HgS + H_2$$

পরীক্ষাগারে নিকেল বা সিলভারের জিনিস কালো হয়ে যায়, কারণ H_2S ওগুলির সঙ্গে ধীরে ধীরে বিক্রিয়া করে জিনিসগুলির উপর কালো সালফাইডের একটি আস্তরণ ফেলে।

$$Hg + H_2S = HgS + H_2\uparrow \quad ; \quad 2Ag + H_2S = Ag_2S + H_2\uparrow]$$

● **রূপোর জিনিস বা তৈল চিত্রের সাদা রং পুরোনো হলে কালো হয়ে যায়**—এর কারণ হল, বায়ুর মধ্যে সামান্য H_2S থাকে। বায়ুর মধ্যস্থ H_2S অনেকদিন ধরে রূপোর সঙ্গে একটু একটু বিক্রিয়া করে রূপোর উপর কালো রং-এর সিলভার সালফাইডের একটি আস্তরণ ফেলে। এর ফলে রূপোর জিনিস কালো হয়ে যায়। ছবির সাদা রং-এর মধ্যে লেড যৌগ থাকে। পুরোনো তৈল চিত্রে থাকা এই লেড লবণ বাতাসের মধ্যস্থ H_2S-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে কালো রং-এর লেড সালফাইডে পরিণত হয়। তাই তৈল চিত্রের সাদা রং কালো হয়ে যায়।

(4) বিজারণ ধর্ম ঃ H_2S একটি বিজারক, অন্য পদার্থকে বিজারিত করে নিজে জারিত হয়ে সালফারে পরিণত হয়।

● **H_2S শুধু বিজারণ করে, জারণ করে না**—এর কারণ হল— $H_2\overset{-2}{S}$, $\overset{0}{S}$, $\overset{+4}{S}O_2$, $\overset{+6}{S}O_3$

S-এর সর্বনিম্ন জারণ অবস্থা হল (–2) এবং সর্বোচ্চ জারণ অবস্থা হল (+6)। H_2S-এর মধ্যে S পরমাণুর জারণ সংখ্যা হল (–2)। H_2S-এর S পরমাণু এই অবস্থা থেকে জারণ সংখ্যা বৃদ্ধি করে (0) জারণ অবস্থায় যেতে পারে। তাই রাসায়নিক বিক্রিয়ায় H_2S-এর S পরমাণুর জারণ সংখ্যা বৃদ্ধি পেয়ে (–2) থেকে (0) হয়। জারণ সংখ্যা বৃদ্ধির জন্য H_2S-এর S পরমাণু জারিত হয়। ফলে অন্য পদার্থ বিজারিত হয়। তাই H_2S একটি শক্তিশালী বিজারক।

$$H_2\overset{-2}{S} + \overset{0}{Cl}_2 \rightleftharpoons 2H\overset{-1}{Cl} + \overset{0}{S}$$

(i) হ্যালোজেনের বিজারণ ঃ (a) ক্লোরিন জলের মধ্যে H_2S চালনা করলে ক্লোরিন বিজারিত হয়ে HCl উৎপন্ন করে।

$$Cl_2 + H_2S = 2HCl + S\downarrow$$

(b) লাল বর্ণের ব্রোমিন জলের মধ্যে H_2S চালনা করলে ব্রোমিন H_2S দ্বারা বিজারিত হয়ে বর্ণহীন **হাইড্রোব্রোমিক অ্যাসিড** উৎপন্ন করে এবং H_2S জারিত হয়ে S-এর অধঃক্ষেপ উৎপন্ন করে। ফলে লাল বর্ণের ব্রোমিন জল বর্ণহীন হয়ে যায়।

$$Br_2 + H_2S = 2HBr + S\downarrow$$

(c) জলে প্রলম্বিত আয়োডিনের মধ্য দিয়ে H_2S চালনা করলে আয়োডিন বিজারিত হয়ে বর্ণহীন **হাইড্রোআয়োডিক অ্যাসিড** উৎপন্ন করে।

$$I_2 + H_2S = 2HI + S\downarrow$$

(ii) হলুদ রং-এর ফেরিক ক্লোরাইড দ্রবণের মধ্যে H_2S চালনা করলে ফেরিক ক্লোরাইড বিজারিত হয়ে বর্ণহীন ফেরাস ক্লোরাইডে পরিণত হয় এবং সালফারে অধঃক্ষেপ পড়ে।

$$2\overset{+3}{Fe}Cl_3 + H_2\overset{-2}{S} = 2\overset{+2}{Fe}Cl_2 + 2HCl + \overset{0}{S}$$

(বিজারণ)

(iii) বেগুনি বর্ণের অ্যাসিডযুক্ত পটাশিয়াম পারম্যাঙ্গানেট দ্রবণের মধ্য দিয়ে H_2S চালনা করলে, $KMnO_4$ বিজারিত হয়ে **বর্ণহীন ম্যাঙ্গানাস লবণে পরিণত হয়,** ফলে বেগুনি রং বর্ণহীন হয়।

$$2K\overset{+7}{Mn}O_4 + 5H_2\overset{-2}{S} + 3H_2SO_4 = K_2SO_4 + 2\overset{+2}{Mn}SO_4 + 5\overset{0}{S}\downarrow + 8H_2O$$

(iv) কমলা রং-এর অ্যাসিডযুক্ত পটাশিয়াম ডাইক্রোমেট দ্রবণকে H_2S বিজারিত করে **সবুজ রং-এর ক্রোমিক লবণে পরিণত করে।**

$$K_2\overset{+6}{Cr}_2O_7 + 4H_2SO_4 + 3H_2\overset{+2}{S} = K_2SO_4 + \overset{+3}{Cr}_2(SO_4)_3 + 7H_2O + 3\overset{0}{S}\downarrow$$

(v) H_2S নাইট্রিক অ্যাসিডকে বিজারিত করে নাইট্রোজেন ডাই-অক্সাইড উৎপন্ন করে এবং নিজে জারিত হয়ে S-এর অধঃক্ষেপ উৎপন্ন করে।

$$H_2S + 2HNO_3 = 2H_2O + 2NO_2 + S$$

অতিরিক্ত গাঢ় HNO_3-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় H_2S জারিত হয়ে H_2SO_4-এর পরিণত হয়।

$$H_2S + 8HNO_3 = 4H_2O + 8NO_2 + H_2SO_4$$

(vi) জলের উপস্থিতিতে H_2S সালফার ডাইঅক্সাইডকে বিজারিত করে সালফার উৎপন্ন করে।

$$2H_2\overset{-2}{S} + \overset{+4}{S}O_2 = 2H_2O + 3\overset{0}{S}$$

এই বিক্রিয়া প্রমাণ করে যে H_2S, সালফার ডাইঅক্সাইডের চেয়ে আরো শক্তিশালী বিজারক।

(vii) H_2S গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড এবং হাইড্রোজেন পারক্সাইডকে বিজারিত করে।

$$H_2SO_4 + H_2S = 2H_2O + SO_2 + S\downarrow$$

$$H_2O_2 + H_2S = 2H_2O + S\downarrow$$

(5) ধাতব লবণের সঙ্গে বিক্রিয়া ঃ অনেক ধাতব লবণের জলীয় দ্রবণের সঙ্গে বিক্রিয়া করে ধাতব সালফাইডের অধঃক্ষেপ উৎপন্ন করে। এইসব ধাতব সালফাইড বেশির ভাগ জলে অদ্রাব্য এবং বিশেষ বর্ণের হয় তাই এগুলিকে সহজে চেনা যায় ঃ

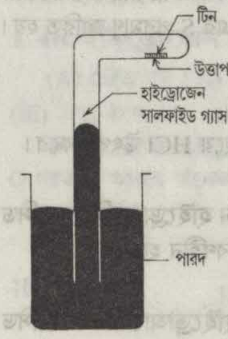
$$CuSO_4 + H_2S = H_2SO_4 + CuS \text{ (কালো)}$$

$$ZnSO_4 + H_2S = H_2SO_4 + ZnS \text{ (সাদা)}$$

$$Pb(NO_3)_2 + H_2S = 2HNO_3 + PbS \text{ (কালো)}$$

●হাইড্রোজেন সালফাইডের মধ্যে সালফার ও হাইড্রোজেন আছে—প্রমাণ।

সালফার (S) ঃ হাইড্রোজেন সালফাইডপূর্ণ একটি গ্যাসজারের মধ্যে জ্বলন্ত একটি পাটকাঠি প্রবেশ করালে—দেখা গেল কাঠিটি নিভে গেল কিন্তু গ্যাসটি নীল শিখায় জ্বলতে থাকলো। শিখাটি নিভে গেলে পর, গ্যাসজারের গায়ে লেগে থাকা হলুদ পদার্থ সংগ্রহ করে বাতাসের মধ্যে পোড়ালে—পোড়া বারুদের গন্ধ-বিশিষ্ট গ্যাস নির্গত হয়। অ্যাসিডযুক্ত $K_2Cr_2O_7$-এর দ্রবণে সিক্ত ব্লটিং পেপার এই গ্যাসের মধ্যে ধরলে সবুজ হয়ে যায়। এতে প্রমাণিত হয় গ্যাসটি সালফার ডাইঅক্সাইড। এখন S-কে বাতাসে পোড়ালে SO_2 উৎপন্ন হয়। সুতরাং হলুদ বর্ণের পদার্থটি সালফার। এই সালফার এসেছে H_2S থেকে। দহনের সময় H_2S বাতাসের O_2 দ্বারা জারিত হয়ে S উৎপন্ন করে। এই সালফার পোড়ালে O_2-এর সঙ্গে যুক্ত হয়ে SO_2-তে পরিণত হয়।



চিত্র 1.27 ঃ হাইড্রোজেন সালফাইডের H আছে তার প্রমাণ

$$2H_2S + O_2 = 2H_2O + 2S\downarrow \quad ; \quad S + O_2 = SO_2$$

হাইড্রোজেন (H) ঃ একটি বাঁকানো ইউডিওমিটার নলের মধ্যে মার্কারি ভর্তি করে, মার্কারির অপসারণ দ্বারা ওর মধ্যে শুষ্ক এবং বিশুদ্ধ হাইড্রোজেন সালফাইড ভর্তি করা হয়। নলটির অনুভূমিক অংশে এক টুকরো টিনের পাত রেখে বার্নার দিয়ে টিনের পাতটিকে উত্তপ্ত করা হল। টিন হাইড্রোজেন সালফাইডের সঙ্গে বিক্রিয়া করে SnS উৎপন্ন করে। নলের মধ্যে অবশিষ্ট যে বর্ণহীন গ্যাস রইল ওই গ্যাসকে পরীক্ষা করে দেখা গেল গ্যাসটি নীল শিখায় জ্বলে। O_2-এর মধ্যে জ্বলে বর্ণহীন তরল উৎপন্ন করে—যা অনার্দ্র $CuSO_4$-কে নীল করে। অতএব প্রমাণিত হল তরলটি জল—জলে H_2 আছে, এই H_2 হাইড্রোজেন সালফাইড থেকে আসে। $H_2S + Sn = SnS + H_2\uparrow$

● হাইড্রোজেন সালফাইডের শনাক্তকরণ ঃ

(i) H_2S গ্যাসের মধ্যে লেড অ্যাসিটেট দ্রবণে ভেজানো কাগজ ধরলে কালো হয়ে যায়।

$$Pb(CH_3COO)_2 + H_2S = PbS\downarrow + 2CH_3COOH$$

(ii) অ্যাসিড মিশ্রিত $KMnO_4$ দ্রবণের মধ্য দিয়ে H_2S গ্যাস চালনা করলে, বেগুনি রং বর্ণহীন হয়ে ঘোলাটে হয়ে যায়।

(iii) H_2S গ্যাসকে সদ্য প্রস্তুত ক্ষারীয় সোডিয়াম নাইট্রোপ্রুসাইড দ্রবণে চালনা করলে বেগুনি বর্ণের একটি জটিল যৌগ উৎপন্ন হয় ফলে দ্রবণের বর্ণ বেগুনি হয়ে যায়।

1.47. হাইড্রোজেন সালফাইডের ব্যবহার [Uses of H_2O]

বিজারক হিসাবে অনেক ক্ষেত্রে H_2S ব্যবহার করা যায় বটে, **কিন্তু অজৈব লবণের ধাতব মূলক শনাক্তকরণে H_2S-এর ব্যবহার সবচেয়ে বেশি।** ধাতব সালফাইডগুলিকে কয়েকটি শ্রেণিতে ভাগ করা যায়।

ধাতব সালফাইড

- **জলে দ্রাব্য** — ক্ষার ধাতু এবং ক্ষারীয় মৃত্তিকা ধাতুগুলির সালফাইড, যেমন Na_2S, K_2S, CaS, BaS ইত্যাদি।
- **জলে অদ্রাব্য**
  - **পাতলা HCl-এ অদ্রাব্য** যেমন—PbS, HgS, CuS, Sb_2S_3, SnS ইত্যাদি
  - **পাতলা HCl-এ দ্রাব্য কিন্তু ক্ষারীয় দ্রবণে অদ্রাব্য** যেমন—ZnS, FeS, NiS, CoS ইত্যাদি।

(a) যেসব ধাতব সালফাইড জলে অদ্রাব্য, সেই সব ধাতুর লবণের অ্যাসিডমিশ্রিত বা অ্যামোনিয়া মিশ্রিত জলীয় দ্রবণের মধ্যে H_2S চালনা করলে ধাতব সালফাইডগুলি অধঃক্ষিপ্ত হয়। তখন ধাতব সালফাইডের বিভিন্ন রং দেখে ধাতুগুলি শনাক্ত করা যায়।

$$CuCl_2 + H_2S = \underset{\text{কালো}}{CuS\downarrow} + 2HCl$$

$$2SbCl_3 + 3H_2S = \underset{\text{কমলা}}{Sb_2S_3\downarrow} + 6HCl$$

$$ZnSO_4 + H_2S = \underset{\text{সাদা}}{ZnS\downarrow} + H_2SO_4$$

একাধিক ধাতব সালফাইড অনেক সময় একই রং-এর হয়। যেমন—

কালো রং → মারকিউরিক সালফাইড (HgS), লেড সালফাইড (PbS), কপার সালফাইড (CuS), ফেরাস সালফাইড (FeS).

হলুদ রং → আর্সেনিক সালফাইড (As_2S_3), ক্যাডলিয়াম সালফাইড (CdS).

এইসব ক্ষেত্রে বিভিন্ন বিক্রিয়ার সাহায্যে ধাতুগুলিকে শনাক্ত করা হয়।

PbS এবং CuS উভয়ের রং কালো। PbS-কে HNO_3-তে দ্রবীভূত করলে ওই দ্রবণে $K_2Cr_2O_7$ দ্রবণ যোগ করলে $PbCrO_4$-এর হলুদ অধঃক্ষেপ পাওয়া যায়। CuS-কে HNO_3-তে দ্রবীভূত করে ওই দ্রবণে অতিরিক্ত NH_4OH যোগ করলে কিউপ্রো অ্যামোনিয়াম জটিল লবণের গাঢ় নীল বর্ণের দ্রবণ পাওয়া যায়। এইভাবে উভয়কে শনাক্ত করা যায়।

(b) ধাতব সালফাইডের দ্রাব্যতার উপর নির্ভর করে বিভিন্ন ধাতব লবণের মিশ্রণ থেকে ধাতব মূলক পৃথক করা যায়।

(i) অ্যাসিডযুক্ত মিশ্র লবণের জলীয় দ্রবণে H_2S চালনা করলে যে সালফাইডগুলি অ্যাসিডে অদ্রাব্য, শুধু সেই সালফাইডগুলি যেমন, CuS, PbS, CdS, As_2S_3, SnS প্রভৃতি অধঃক্ষিপ্ত হয়। যে সালফাইডগুলি ক্ষারীয় দ্রবণে অদ্রাব্য এবং যেগুলি জলে দ্রাব্য সেই সালফাইডগুলি দ্রবণের মধ্যে দ্রবীভূত অবস্থায় থাকে।

(ii) উপরের অধঃক্ষেপকে ফিলটার করে পৃথক করে নিয়ে পরিস্রুতের মধ্যে অতিরিক্ত NH_4OH মিশিয়ে দ্রবণটিকে ক্ষারীয় করে H_2S চালনা করলে যে সালফাইডগুলি ক্ষারীয় দ্রবণে অদ্রাব্য, সেইগুলি যেমন—ZnS, FeS, MnS, NiS ইত্যাদি অধঃক্ষিপ্ত হয়। ফিলটার করে এগুলি পৃথক করে নিলে পরিস্রুতের মধ্যে জলে দ্রাব্য Na_2S, K_2S, CaS, BaS ইত্যাদি সালফাইডগুলি দ্রবীভূত থাকে।

● সালফার ডাইঅক্সাইড ●

1774 খ্রীস্টাব্দে বিজ্ঞানী **প্রিস্টলি** গাঢ় H_2SO_4-এর সঙ্গে মারকারি উত্তপ্ত করে সালফার ডাই-অক্সাইড গ্যাস উৎপন্ন করেন। আগ্নেয়গিরি থেকে নির্গত গ্যাসের মধ্যে SO_2 থাকে। কয়েক জায়গায় প্রস্রবণের জলে এই গ্যাসটি দ্রবীভূত অবস্থায় থাকে।

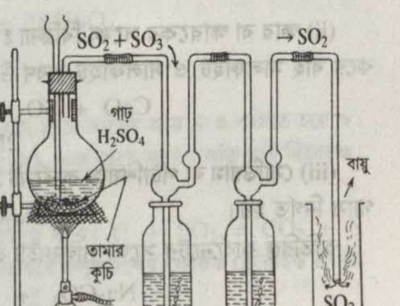
1.48. সালফার ডাইঅক্সাইডের প্রস্তুতি [Preparation of Sulphur dioxide]

(1) পরীক্ষাগার প্রস্তুতি ঃ পরীক্ষাগারে গাঢ় **সালফিউরিক অ্যাসিডের** সঙ্গে **ধাতব কপার** উত্তপ্ত করে সালফার ডাই-অক্সাইড উৎপন্ন করা হয়।

$$Cu + 2H_2SO_4 \xrightarrow{\Delta} CuSO_4 + SO_2\uparrow + 2H_2O$$

(B) পদ্ধতি ঃ দীর্ঘনল ফানেল ও নির্গম নলযুক্ত একটি ফ্লাস্কের মধ্যে কিছু পরিমাণ তামার কুচি রেখে দীর্ঘনল ফানেলের মধ্য দিয়ে কিছু পরিমাণ গাঢ় H_2SO_4 যোগ করার পর ফ্লাস্কটিকে একটি ত্রিপদ স্ট্যান্ডে রাখা তারজালির উপর রেখে উত্তপ্ত করা হল। এর ফলে গাঢ় এবং উত্তপ্ত H_2SO_4 Cu দ্বারা বিজারিত হয়ে সালফার ডাইঅক্সাইড গ্যাস উৎপন্ন হয়। এই গ্যাস নির্গম-নলের মধ্য দিয়ে বেরিয়ে **বাতাসের ঊর্ধ্ব অপসারণ দ্বারা খাড়া অবস্থায় রাখা একটি শুষ্ক গ্যাসজারে জমা হয়।**

বিশুদ্ধিকরণ ঃ এইভাবে উৎপন্ন SO_2-এর সঙ্গে সামান্য জলীয় বাষ্প এবং সালফার ট্রাই অক্সাইড SO_3 মেশানো থাকে। উৎপন্ন গ্যাসটিকে প্রথমে জলের মধ্যে চালনা করে SO_3-কে দূর করা হয়, পরে গাঢ় H_2SO_4-এর মধ্য দিয়ে চালনা করে জল মুক্ত করার পর শুষ্ক ও বিশুদ্ধ SO_2-কে সংগ্রহ করা হয়।



চিত্র 1.28 ঃ SO_2-এর পরীক্ষাগার প্রস্তুতি

● **সালফার ডাইঅক্সাইড গ্যাসকে চুন দ্বারা শুষ্ক করা যায় না, কারণ** CaO একটি ক্ষারীয় অক্সাইড এবং SO_2 একটি আম্লিক অক্সাইড। সুতরাং SO_2, CaO-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে ক্যালশিয়াম সালফাইট লবণ উৎপন্ন করে।

$$CaO + SO_2 = CaSO_3$$

(2) গাঢ় H_2SO_4-**এর সঙ্গে সিলভার, মারকারি, কার্বন বা সালফারের** বিক্রিয়ায় H_2SO_4 বিজারিত হয়ে সালফার ডাইঅক্সাইড গ্যাস উৎপন্ন হয়।

$$2Ag + 2H_2SO_4 = Ag_2SO_4 + SO_2 + 2H_2O$$
$$Hg + 2H_2SO_4 = HgSO_4 + SO_2 + 2H_2O$$
$$C + 2H_2SO_4 = 2SO_2 + CO_2 + 2H_2O \qquad S + 2H_2SO_4 = 3SO_2 + 2H_2O$$

(3) সালফারকে বাতাসে পোড়ালে সালফার ডাইঅক্সাইড উৎপন্ন হয়। $S + O_2 = SO_2\uparrow$

(4) সালফাইট বা বাই-সালফাইট লবণ থেকে ঃ সোডিয়াম বা পটাশিয়াম সালফাইট বা বাই-সালফাইটের গাঢ় দ্রবণে ফোঁটা ফোঁটা গাঢ় H_2SO_4 যোগ করলে সালফেট লবণ এবং SO_2 গ্যাস পাওয়া যায়।

$$2NaHSO_3 + H_2SO_4 = Na_2SO_4 + 2SO_2 + 2H_2O$$
$$CaSO_3 + 2HCl = CaCl_2 + SO_2 + H_2O$$

1.49. সালফার ডাই-অক্সাইডের ধর্ম [Properties of Sulphur di-oxide]

(A) ভৌত ধর্ম ঃ (i) সালফার ডাইঅক্সাইড বর্ণহীন শ্বাসরোধকারী পোড়া বারুদের গন্ধযুক্ত বিষাক্ত গ্যাস। **(ii)** বাতাসের চেয়ে প্রায় দ্বিগুণ ভারী। **(iii)** SO_2-কে সহজে তরলে পরিণত করা যায়। তরল SO_2 (10°C)-এ ফুটতে থাকে। **(iv)** SO_2 জলে দ্রাব্য।

(B) রাসায়নিক ধর্ম ঃ

(1) দহন ক্ষমতা ঃ সালফার ডাইঅক্সাইড নিজে দাহ্য নয় বা অন্যকে জ্বলতে সাহায্য করে না, কিন্তু জ্বলন্ত Na, K, লোহাচুর, Mg ইত্যাদি এই গ্যাসে জ্বলে। উচ্চ তাপমাত্রায় SO_2 বিশ্লিষ্ট হয়ে যে অক্সিজেন দেয় সেই O_2 এই দহনে সাহায্য করে। এই বিক্রিয়াগুলিতে **SO_2 জারকের কাজ করে।**

$$4K + 3SO_2 = K_2SO_3 + K_2S_2O_3 \quad \text{(থায়োসালফেট)}$$
$$3Fe + SO_2 = 2FeO + FeS \qquad 3Mg + SO_2 = 2MgO + MgS$$

1100°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত কার্বন, সালফার ডাইঅক্সাইডকে বিজারিত করে সালফার উৎপন্ন করে।

$$C + SO_2 = CO_2 + S$$

(2) অ্যাসিড ধর্ম (Acid Property) ঃ (i) SO_2 একটি আম্লিক অক্সাইড। SO_2 জলে দ্রাব্য এবং জলীয় দ্রবণ অ্যাসিডধর্মী। জলের সঙ্গে SO_2 যুক্ত হয়ে **সালফিউরাস অ্যাসিড** (H_2SO_3) উৎপন্ন করে যা নীল লিটমাসকে লাল করে। **এই অ্যাসিড অস্থায়ী এবং দ্বিক্ষারিক।** একে উত্তপ্ত করলে আবার SO_2 ও জল উৎপন্ন হয়। **তাই SO_2-কে সালফিউরাস অ্যাসিডের অ্যানহাইড্রাইড বলে।**

$$SO_2 + H_2O = H_2SO_3 \qquad SO_2 \underset{-H_2O}{\overset{+H_2O}{\rightleftharpoons}} H_2SO_4$$

(ii) ক্ষার বা ক্ষারকের সঙ্গে বিক্রিয়া ঃ সালফার ডাইঅক্সাইড একটি আম্লিক অক্সাইড তাই ক্ষার বা ক্ষারকের সঙ্গে বিক্রিয়া করে **বাই সালফাইট ও সালফাইট লবণ** উৎপন্ন করে।

$$CaO + SO_2 = CaSO_3 \quad ; \quad NaOH + SO_2 = NaHSO_3$$
$$2NaOH + SO_2 = Na_2SO_3 + H_2O$$

(iii) সোডিয়াম বা পটাশিয়াম কার্বনেট দ্রবণের মধ্যে SO_2 গ্যাস চালনা করলে **বাই-সালফাইট লবণ** উৎপন্ন করে এবং CO_2 গ্যাস নির্গত হয়। $Na_2CO_3 + H_2O + 2SO_2 = 2NaHSO_3 + CO_2$

অতিরিক্ত কার্বনেটের সঙ্গে সালফাইট লবণ উৎপন্ন করে।

$$Na_2CO_3 + 2NaHSO_3 = 2Na_2SO_3 + CO_2 + H_2O$$

(iv) (a) স্বচ্ছ চুনজলের মধ্য দিয়ে SO_2 গ্যাস চালনা করলে প্রথমে অদ্রাব্য সালফাইট লবণ উৎপন্ন হয়, ফলে স্বচ্ছ চুনজল ঘোলা হয়ে যায় (CO_2 গ্যাসের মতো)।

$$Ca(OH)_2 + SO_2 = CaSO_3\downarrow + H_2O$$

(b) অতিরিক্ত সালফার ডাইঅক্সাইড চালনা করলে অদ্রাব্য $CaSO_3$ **দ্রাব্য বাই-সালফাইট লবণে পরিণত হয়, ফলে ঘোলা দ্রবণ আবার স্বচ্ছ হয়।** $CaSO_3 + H_2O + SO_3 = Ca(HSO_3)_2$

(3) সালফার ডাই অক্সাইডের বিয়োজন (ডিসপ্রোপোরশনেসন বিক্রিয়া) **ঃ সালফার ডাইঅক্সাইডের সম্পৃক্ত জলীয় দ্রবণকে একটি বন্ধ কাচের বালবের মধ্যে রেখে 150°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত করলে** দ্রবণ থেকে ফিকে হলুদ রং-এ সালফার অধঃক্ষিপ্ত হয়।

বিজারণ

$$H_2O + SO_2 = H_2SO_3; \quad 3H_2\overset{+4}{S}O_3 = S\downarrow + 2H_2\overset{+6}{S}O_4 + H_2O$$

জারণ

H_2SO_3 এর এক অংশ জারিত হয়ে H_2SO_4-এ পরিণত হয় এবং অপর অংশ বিজারিত হয়ে সালফারে পরিণত হয়। এই **বিক্রিয়াটি ডিসপ্রোপোরশনেসন বিক্রিয়া বা স্বতঃজারণ-বিজারণ বিক্রিয়ার উদাহরণ।**

(4) বিজারণ ধর্ম ঃ সালফার ডাইঅক্সাইড শক্তিশালী বিজারক। সালফার ডাইঅক্সাইডের জলীয় দ্রবণের সঙ্গে **হ্যালোজেনের** বিক্রিয়ায় **হ্যালোজেন বিজারিত হয়ে হাইড্রাসিডে পরিণত হয়** এবং SO_2 জারিত হয়ে H_2SO_4-এ পরিণত হয়।

(i) SO_2-এর জলীয় দ্রবণ **ক্লোরিনকে** বিজারিত করে **হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড** উৎপন্ন করে।

$$SO_2 + H_2O = H_2SO_3; \quad H_2\overset{+4}{S}O_3 + \overset{0}{Cl_2} + H_2O = H_2\overset{+6}{S}O_4 + 2H\overset{-1}{Cl}$$

(ii) লাল বর্ণের ব্রোমিন জলের মধ্যে SO_2 গ্যাস চালনা করলে, ব্রোমিন বিজারিত হয়ে **বর্ণহীন হাইড্রোব্রোমিক অ্যাসিড** উৎপন্ন করে এবং SO_2 জারিত হয়ে H_2SO_4-এ পরিণত হয়। এর ফলে ব্রোমিন জলের লাল বর্ণ বর্ণহীন হয়।

$$SO_2 + H_2O = H_2SO_3; \quad H_2\overset{+4}{S}O_3 + \overset{0}{Br_2} + H_2O = H_2\overset{+6}{S}O_4 + 2H\overset{-1}{Br}$$

(iii) জলে প্রলম্বিত আয়োডিনের মধ্যে দিয়ে SO_2 চালনা করলে I_2 বিজারিত হয়ে বর্ণহীন হাইড্রোআয়োডিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে।

$$SO_2 + H_2O = H_2SO_3; \quad H_2\overset{+4}{S}O_3 + I_2 + H_2O = H_2\overset{+6}{S}O_4 + 2H\overset{-1}{I}$$

(iv) হলুদ রং-এর ফেরিক ক্লোরাইড দ্রবণকে বিজারিত করে বর্ণহীন **ফেরাস ক্লোরাইডে** পরিণত করে **হাইড্রোজেন পারক্সাইডকে** বিজারিত করে H_2O উৎপন্ন করে।

$$2\overset{+3}{Fe}Cl_3 + SO_2 + 2H_2O = 2\overset{+2}{Fe}Cl_2 + 2HCl + H_2SO_4$$

(v) সালফার ডাইঅক্সাইড, অ্যাসিড মিশ্রিত বেগুনি বর্ণের $KMnO_4$ দ্রবণকে বিজারিত করে **বর্ণহীন ম্যাঙ্গানাস লবণে** পরিণত করে।

$$2K\overset{+7}{Mn}O_4 + 5SO_2 + 2H_2O = K_2SO_4 + 2\overset{+2}{Mn}SO_4 + 2H_2SO_4$$

(vi) কমলা বর্ণের আম্লিক $K_2Cr_2O_7$ দ্রবণকে SO_2 বিজারিত করে **ক্রোমিক লবণের সবুজ দ্রবণ উৎপন্ন করে।**

$$K_2\overset{+6}{Cr_2}O_7 + 3SO_2 + H_2SO_4 = K_2SO_4 + \overset{+3}{Cr_2}(SO_4)_3 + H_2O$$

(vii) সালফার ডাইঅক্সাইড, **নাইট্রিক অ্যাসিডকে** বিজারিত করে বাদামি বর্ণের NO_2 উৎপন্ন করে।

$$2H\overset{+5}{N}O_3 + SO_2 = H_2SO_4 + 2\overset{+4}{N}O$$

(viii) জলীয় দ্রবণে **আয়োডেটকে** বিজারিত করে বাদামি বর্ণের আয়োডিন মুক্ত করে।

$$2K\overset{+5}{I}O_3 + 5\overset{+4}{S}O_2 + 4H_2O = \overset{0}{I_2} + 3H_2\overset{+6}{S}O_4 + 2KHSO_4$$

(5) জারণ-ক্ষমতা ঃ কোনো কোনো সময় SO_2 জারক হিসাবে কাজ করে।

(i) হাইড্রোজেন সালফাইড, SO_2 দ্বারা জারিত হয়ে সালফার উৎপন্ন করে। এই বিক্রিয়াটি লক্ষ্য করলে দেখা যায় SO_2 নিজে বিজারিত হয়ে S-এ পরিণত হয়েছে এবং H_2S জারিত হয়ে S-এ পরিণত হয়েছে। H_2S এই বিক্রিয়ায় বিজারক রূপে কাজ করে। সুতরাং **এই বিক্রিয়া থেকে বলা যায় যে H_2S, SO_2-এর চেয়ে আরও শক্তিশালী বিজারক।**

$$2H_2\overset{-2}{S} + \overset{+4}{S}O_2 = 3\overset{0}{S} + 2H_2O$$

(ii) 1100°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত কার্বন, সালফার ডাইঅক্সাইড দ্বারা জারিত হয়ে CO_2 উৎপন্ন করে। $C + SO_2 = CO_2 + S$

(iii) অ্যাসিড মিশ্রিত **বর্ণহীন ফেরাস ক্লোরাইড দ্রবণে** SO_2 চালনা করলে, $FeCl_2$ জারিত হয়ে **হলুদ বর্ণের ফেরিক ক্লোরাইড** উৎপন্ন করে।

$$4\overset{+2}{Fe}Cl_2 + \overset{+4}{S}O_2 + 4HCl = 4\overset{+3}{Fe}Cl_3 + 2H_2O + \overset{0}{S}$$

(6) যুতযৌগ গঠন ঃ বিভিন্ন মৌল এবং যৌগের সঙ্গে SO_2 যুতযৌগ উৎপন্ন করে। যেমন সূর্যালোকের উপস্থিতিতে SO_2 ক্লোরিনের সঙ্গে যুক্ত হয়ে **সালফিউরিল ক্লোরাইড** উৎপন্ন করে।

$$SO_2 + Cl_2 = SO_2Cl_2 \text{ (সূর্যালোকে)}$$

লেড ডাই-অক্সাইডের সঙ্গে SO_2-এর বিক্রিয়ায় $PbSO_4$ উৎপন্ন হয়। $PbO_2 + SO_2 = PbSO_4$

(7) উচ্চ উষ্ণতায় (1200°C) SO_2 বিয়োজিত হয়ে S এবং SO_3-তে পরিণত হয়। এই বিক্রিয়ায় SO_2-এর এক অংশ জারিত হয়ে SO_3-তে পরিণত হয় এবং অপর অংশ বিজারিত হয়ে S উৎপন্ন করে। সুতরাং এটি একটি ডিসপ্রোপোরশনেসন বিক্রিয়া।

$$\overset{+4}{S}O_2 = 2\overset{+6}{S}O_3 = \overset{0}{S}$$

● SO_2 যুতযৌগ উৎপন্ন করে, কিন্তু CO_2 যুতযৌগ উৎপন্ন করে না কেন?

কতকগুলি বিক্রিয়ায় SO_2 বিভিন্ন মৌল এবং কয়েকটি যৌগের সঙ্গে যুতযৌগ উৎপন্ন করে। এর কারণ হল এই যে S পরমাণুর 6টি যোজক ইলেকট্রনের মধ্যে 4টি ইলেকট্রন 2টি O পরমাণুর সঙ্গে সমযোজী বন্ধন সৃষ্টি করতে ব্যায়িত হয়। বাকি দুটি ইলেকট্রন অব্যবহৃত অবস্থায় নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন জোড়রূপে S পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত থাকে। SO_2 এই দুটি ইলেকট্রন অপর পরমাণুকে দান করে যুতযৌগ উৎপন্ন করে।

$$O = \overset{\bullet}{\underset{\bullet}{S}} = O + Cl_2 \longrightarrow O = \overset{Cl}{\underset{Cl}{S}} = O$$

CO_2-এর মধ্যে C পরমাণুর 4টি যোজক ইলেকট্রনের সবগুলি 2টি O পরমাণুর সঙ্গে সমযোজী বন্ধন সৃষ্টি করতে ব্যায়িত হয়। কোনো বাড়তি ইলেকট্রন অব্যবহৃত অবস্থায় থাকে না—তাই CO_2 যুতযৌগ উৎপন্ন করতে পারে না। $O = C = O$

(8) বিরঞ্জন ধর্ম ঃ অনেক জৈব রঙিন পদার্থকে SO_2 বিরঞ্জিত করে। জলীয় বাষ্পের উপস্থিতি ছাড়া এই বিরঞ্জন ক্রিয়া হয় না। খুব সম্ভব SO_2 প্রথমে জলের সঙ্গে ক্রিয়া করে জায়মান হাইড্রোজেন উৎপন্ন করে, এই জায়মান হাইড্রোজেন রঙিন পদার্থকে বিজারিত করে বিরঞ্জন করে। $SO_2 + 2H_2O = H_2SO_4 + 2H$

$$\text{রঙিন পদার্থ} + H \xrightarrow{\text{বিজারণ}} \text{বিরঞ্জিত পদার্থ}$$

● সালফার ডাইঅক্সাইডের জারণ এবং বিজারণ এই দুই ধর্মই দেখা যায় কেন?

SO_2-এর জারণ এবং বিজারণ উভয় ক্ষমতাই আছে—এর কারণ S পরমাণুর বিভিন্ন জারণ অবস্থা দিয়ে ব্যাখ্যা করা যায়। বিভিন্ন যৌগে S-পরমাণুর একাধিক জারণ-সংখ্যা (–2), +4, +6 হতে দেখা যায়। মুক্ত অবস্থায় S-পরমাণুর জারণ সংখ্যা 0 হয়। S-এর সর্বোচ্চ জারণ সংখ্যা = (+6), যেমন, SO_3 বা H_2SO_4-এর মধ্যে S-এর জারণ সংখ্যা = +6 এবং সর্বনিম্ন জারণ সংখ্যা (–2); যেমন H_2S-এর মধ্যে S-এর জারণ সংখ্যা = –2. SO_2-তে S-এর জারণ সংখ্যা (+4), SO_2-এর S পরমাণুর জারণ সংখ্যা +4 থেকে কমে (0) বা (–2) জারণ অবস্থায় নেমে যাওয়া বা (+4) জারণ অবস্থা থেকে বেড়ে (+6) জারণ অবস্থায় উঠে যাওয়ার প্রবণতা থেকে যায়।

(i) তাই S-এ জারণ সংখ্যা যখন +4 থেকে কমে 0 বা (–2) হয় ($\overset{+4}{S}O_2 \longrightarrow \overset{0}{S}$) তখন নিজে বিজারিত হয় এই অবস্থায় SO_2 অন্য পদার্থকে জারিত করে।

যেমন—SO_2 **যখন জারণ করে ঃ** $\overset{+4}{S}O_2 + H_2\overset{-2}{S} = 2H_2O + \overset{0}{S}$ (বিজারণ: $\overset{+4}{S} \to \overset{0}{S}$; জারণ: $\overset{-2}{S} \to \overset{0}{S}$)

(ii) আবার SO_2-এর S পরমাণুর জারণ সংখ্যা যখন +4 থেকে +6 হয় ($\overset{+4}{S}O_2 \longrightarrow H_2\overset{+6}{S}O_4$) তখন নিজে জারিত হয়, এই অবস্থায় SO_2 অপর পদার্থকে বিজারিত করে।

SO_2 যখন বিজারণ করে ঃ $\overset{+4}{S}O_2 + 2H\overset{+5}{N}O_3 = H_2\overset{+6}{S}O_4 = 2\overset{+4}{N}O_2$ (জারণ: $\overset{+4}{S} \to \overset{+6}{S}$; বিজারণ: $\overset{+5}{N} \to \overset{+4}{N}$)

● প্রমাণ করো সালফার ডাই-অক্সাইডে সালফার আছে।

পরীক্ষা ঃ সালফার ডাইঅক্সাইডকে জলে দ্রবীভূত করে SO_2-এর সম্পৃক্ত দ্রবণ তৈরি করা হল। একটি বন্ধ কাচের বাল্‌বে এই সম্পৃক্ত দ্রবণের কিছুটা ভর্তি করে বাল্‌বটিকে 150°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত করলে ফিকে হলুদ রং-এর পদার্থের অধঃক্ষেপ পাওয়া যায়। এই কঠিন পদার্থকে সংগ্রহ করে দেখা যায় যে, পদার্থটি CS_2-তে দ্রবীভূত হয় এবং বাতাসে পোড়ালে পোড়া বারুদের গন্ধ-বিশিষ্ট একরকম গ্যাস নির্গত হয়। অ্যাসিডযুক্ত কমলা রং-এ $K_2Cr_2O_7$ দ্রবণে ভেজানো কাগজ এই গ্যাসের মধ্যে ধরলে, কাগজটি সবুজ রং-এ পরিণত হয়। এর দ্বারা প্রমাণিত হয় গ্যাসটি SO_2। সালফার বাতাসের মধ্যে পোড়ার সময়ে O_2-এর সঙ্গে যুক্ত হয়ে SO_2 উৎপন্ন হয়েছে। এই সালফার SO_2 থেকে আসে।

$$SO_2 + H_2O = H_2SO_4 \qquad 3H_2SO_3 = S\downarrow + 2H_2SO_4 + H_2O$$

● SO_2-এর শনাক্তকরণ ঃ

(i) SO_2 গ্যাসকে আম্লিক কমলা রং-এর $K_2Cr_2O_7$ দ্রবণের মধ্যে চালনা করলে গাঢ় সবুজ রং-এর ক্রোমিক লবণের দ্রবণ উৎপন্ন করে। **(ii)** অ্যাসিড মিশ্রিত $KMnO_4$ দ্রবণের মধ্যে চালনা করলে বেগুনি রং বর্ণহীন হয়।

1.50. সালফার ডাই অক্সাইডের ব্যবহার [Uses of SO_2]

(i) সালফিউরিক অ্যাসিড উৎপাদনে কাঁচা মাল হিসাবে SO_2-এর ব্যবহার সবচেয়ে বেশি। **(ii)** উল, সিল্ক, কাগজ-শিল্পে ও চিনি-শিল্পে বিরঞ্জকরূপে SO_2 ব্যবহৃত হয়। **(iii)** জীবাণুনাশকরূপে ও সালফাইট লবণ প্রস্তুতিতে SO_2 ব্যবহৃত হয়। **(iv)** সেই সব ক্ষেত্রে Cl_2-কে বিরঞ্জকরূপে ব্যবহার করা হয়, সেই সব ক্ষেত্রে অতিরিক্ত Cl_2 দূর করার জন্য SO_2 ব্যবহৃত হয়। **(v)** তরল SO_2 দ্রাবকরূপে অনেক সময় ব্যবহৃত হয়।

● **Cl_2 এবং SO_2-এর বিরঞ্জন ধর্মের তুলনা ঃ**

(i) SO_2 এবং Cl_2 উভয়ে শুষ্ক অবস্থায় বিরঞ্জন করতে পারে না, বিরঞ্জন করে জলের উপস্থিতিতে।

(ii) জলের সঙ্গে SO_2-এর বিক্রিয়ায় প্রথমে—**জায়মান হাইড্রোজেন উৎপন্ন হয়।** এই জায়মান হাইড্রোজেনই **রঙিন পদার্থকে বিজারিত করে বিরঞ্জিত পদার্থ উৎপন্ন করে।**

$$2H_2O + SO_2 = H_2SO_4 + 2H$$

$$\text{রঙিন পদার্থ} + H \xrightarrow{\text{বিজারণ}} \text{বিরঞ্জিত পদার্থ}$$

Cl_2 জলের সঙ্গে বিক্রিয়া করে **প্রথমে জায়মান অক্সিজেন উৎপন্ন করে।** এই জায়মান অক্সিজেন **রঙিন পদার্থকে জারিত করে বিরঞ্জিত পদার্থ উৎপন্ন করে।**

$$Cl_2 + H_2O = 2HCl + O$$

$$\text{রঙিন পদার্থ} + O \xrightarrow{\text{জারণ}} \text{বিরঞ্জিত পদার্থ}$$

(iii) **SO_2 দ্বারা বিরঞ্জিত পদার্থ স্থায়ী নয়।** বাতাস বা লঘু অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়ায় বিরঞ্জিত পদার্থটি আবার আগের রং ফিরে পায়। **Cl_2 দ্বারা বিরঞ্জিত পদার্থ স্থায়ী হয়।**

(iv) **SO_2 মৃদু বিরঞ্জক পদার্থ আর Cl_2 তীব্র বিরঞ্জক পদার্থ।** সেজন্য সিল্ক, উল, পালক ইত্যাদি পদার্থগুলি SO_2 দ্বারা বিরঞ্জিত করা হয়। Cl_2 দ্বারা বিরঞ্জিত তরলে পদার্থগুলির ক্ষতি হতে পারে।

● **SO_2 এবং CO_2-এর মিশ্রণ থেকে CO_2-কে পৃথক করার পদ্ধতি অথবা SO_2-এর মধ্যে CO_2-এর উপস্থিতি জানার পরীক্ষা ঃ** গ্যাস মিশ্রণকে প্রথমে অ্যাসিড মিশ্রিত $K_2Cr_2O_7$ দ্রবণের মধ্য দিয়ে চালনা করা হয়। এর ফলে SO_2, $K_2Cr_2O_7$ দ্রবণের সঙ্গে বিক্রিয়া করে সবুজ বর্ণের ক্রোমিক লবণ উৎপন্ন করে কিন্তু CO_2 বিক্রিয়া করে না। ফলে SO_2-এর সঙ্গে CO_2 মিশ্রিত থাকলে এক্ষেত্রে CO_2 বিক্রিয়া না করে বেরিয়ে যাবে। নির্গত গ্যাসটিকে স্বচ্ছ চুন জলের মধ্য দিয়ে চালনা করলে CO_2 উপস্থিত থাকলে চুন জল ঘোলা হয়ে যাবে। CO_2 উপস্থিত না থাকলে চুন জল ঘোলা হবে না। উৎপন্ন $CaCO_3$-কে উত্তপ্ত করলে CO_2 পাওয়া যায়।

$$K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4 + 3SO_2 = Cr_2(SO_4)_3 + K_2SO_4 + H_2O$$

$$Ca(OH)_2 + CO_2 = CaCO_3\downarrow + H_2O$$

● **CO_2 এবং SO_2—এই দুটি গ্যাসের মিশ্রণ থেকে SO_2-কে পৃথক করার উপায় ঃ**

গ্যাস দুটির মিশ্রণকে জলে দ্রবীভূত করে ওই জলীয় দ্রবণকে একটি বন্ধ কাচের বাল্‌বে নিয়ে 150ºC তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করলে জলে দ্রবীভূত SO_2 (সালফিউরাস অ্যাসিড) বিয়োজিত হয়ে সালফারের অধঃক্ষেপ উৎপন্ন করে, জলে দ্রবীভূত CO_2-এর কোনো পরিবর্তন হয় না। এই সালফারকে সংগ্রহ করে বায়ুতে দহন করলে SO_2 পাওয়া যায়।

$$3H_2SO_3 = S\downarrow + 2H_2SO_4 + H_2O$$

● সালফিউরিক অ্যাসিড ●

অজৈব অ্যাসিডগুলির মধ্যে H_2SO_4 সবচেয়ে পরিচিত এবং সর্বাধিক ব্যবহৃত অ্যাসিড। এইজন্য H_2SO_4-কে **'রসায়নের রাজা'** বলা হয়। মধ্যযুগে আরবের অ্যালকেমীবিদেরা ফেরাস সালফেট উত্তপ্ত করে যে গ্যাস পাওয়া যেতো, তাকে জলের সঙ্গে মিশিয়ে সালফিউরিক অ্যাসিড তৈরি করতেন, একে **অয়েল অফ্ ভিট্রিয়ল** (Oil of vitriol) বলা হত।

$$2FeSO_4 = Fe_2O_3 + SO_2 + SO_3 \qquad H_2O + SO_3 = H_2SO_4$$

1.51. সালফিউরিক অ্যাসিড প্রস্তুতি [Preparation of Sulphuric acid]

স্পর্শ পদ্ধতি দ্বারা সালফিউরিক অ্যাসিড উৎপাদন (Preparation of H_2SO_4 by contact process) **ঃ**

(i) এই পদ্ধতিতে **প্রথমে সালফারকে বায়ুর মধ্যে দহন করে SO_2 গ্যাস উৎপন্ন করা হয় অথবা আয়রন পাইরাইটিসকে বায়ুতে পুড়িয়ে SO_2 উৎপন্ন করা হয়।**

$$4FeS_2 + 11O_2 = 2Fe_2O_3 + 8SO_2\uparrow$$

$$S + O_2 = SO_2$$

(ii) উৎপন্ন **সালফার ডাই-অক্সাইডকে বায়ুর অক্সিজেন দ্বারা জারিত করে সালফার ট্রাইঅক্সাইডে পরিণত করা হয়। সালফার ডাইঅক্সাইডের জারণের জন্য অ্যাসবেস্টসের উপর অথবা সিলিকা জেলের উপর জমানো সূক্ষ্ম প্ল্যাটিনাম চূর্ণ অথবা ভ্যানাডিয়াম পেন্টোক্সাইডকে অনুঘটকরূপে ব্যবহার করা হয়।** $2SO_2 + O_2 \rightleftharpoons 2SO_3 + 45$ k ক্যালোরি

(iii) উৎপন্ন SO_3-কে 98% গাঢ় H_2SO_4-এর মধ্যে শোষিত করানো হয়। এর ফলে **ধূমায়মান সালফিউরিক অ্যাসিড বা ওলিয়াম** উৎপন্ন হয়। $SO_3 + H_2SO_4 = H_2S_2O_7$ (ওলিয়াম)

(iv) পরে ওলিয়ামের সঙ্গে পরিমাণ মতো জল যোগ করলে প্রায় 100% বিশুদ্ধ H_2SO_4 পাওয়া যায়।

$$H_2S_2O_7 + H_2O = 2H_2SO_4$$

1.52. সালফিউরিক অ্যাসিডের ধর্ম [Properties of Sulphuric Acid]

(A) ভৌত ধর্ম ঃ (i) বিশুদ্ধ H_2SO_4 বর্ণহীন ভারি তেলের মতো তরল পদার্থ। **(ii)** 15°C উষ্ণতায় এর আপেক্ষিক গুরুত্ব 1·838। HNO_3 বা HCl অ্যাসিডের চেয়ে H_2SO_4 অনেক ভারি, সুতরাং দুটি বোতলে ভরা HCl এবং H_2SO_4-এর মধ্যে কোন বোতলে H_2SO_4 আছে হাতে তুলেই বুঝতে পারা যায়—যেটি ভারি সেটি হবে H_2SO_4। **(iii)** 98% বিশুদ্ধ H_2SO_4-এর স্ফুটনাঙ্ক 338°C। **(iv)** H_2SO_4 জলের সঙ্গে যে-কোনো অনুপাতে মেশে। **(v)** এর জলীয় দ্রবণ তড়িৎ পরিবহণ করে।

(B) রাসায়নিক ধর্ম ঃ

(1) তাপের প্রভাব (Action on heat) ঃ **লোহিততপ্ত সিলিকা-নলের ভিতর দিয়ে H_2SO_4 বাষ্প চালনা করলে অথবা লোহিত তপ্ত ঝামা পাথরের উপর গাঢ় H_2SO_4** ফোঁটা ফোঁটা ফেললে H_2SO_4 **বিয়োজিত হয়ে SO_2 এবং অক্সিজেন উৎপন্ন হয়।** $2H_2SO_4 = 2H_2O + 2SO_2 + O_2$

(2) অ্যাসিড ধর্ম (Acid Properties) ঃ সালফিউরিক অ্যাসিড একটি **দ্বিক্ষারিক অ্যাসিড,** গাঢ় H_2SO_4 খুব কম আয়নিত হয় তাই মৃদু তড়িৎ পরিবাহী। H_2SO_4-এর জলীয় দ্রবণ যত লঘু হয় আয়নীভবন তত বাড়ে এবং তড়িৎ পরিবহণ ক্ষমতাও বাড়ে। **লঘু H_2SO_4-এর মধ্যে H^+ আয়নের আধিক্যের জন্য গাঢ় অ্যাসিড থেকে লঘু অ্যাসিড বেশি তীব্র।** H_2SO_4 ক্ষারকের সঙ্গে বিক্রিয়ায় দুই রকম লবণ উৎপন্ন করে—অ্যাসিড লবণ ও নর্ম্যাল লবণ।

$$NaOH + H_2SO_4 = NaHSO_4 + H_2O$$
$$2NaOH + H_2SO_4 = Na_2SO_4 + 2H_2O$$

(3) জলের প্রতি আসক্তি (Affinity for water) ঃ জলের প্রতি H_2SO_4-এর আসক্তি খুব বেশি। কম উষ্ণতায়, 0°C-এর নীচে সালফিউরিক অ্যাসিড জলের সঙ্গে বিভিন্ন সোদক কেলাস H_2SO_4, nH_2O, $n = 1, 2, 3, 4$ উৎপন্ন করে।

$$[H_2SO_4, H_2O]\ ;\ [H_2SO_4, 2H_2O]\ ;\ [H_2SO_4, 4H_2O]$$

সাধারণ উষ্ণতায় জলের সঙ্গে মেশালে প্রচুর তাপ সৃষ্টি হয়। গাঢ় H_2SO_4 জলীয় বাষ্প শোষণ করে।

জলের প্রতি H_2SO_4-এর আসক্তি এত তীব্র যে জৈব পদার্থের অণু থেকে গঠন-জল শোষণ করে পদার্থটিকে বিয়োজিত করে দেয়। চিনি, স্টার্চ প্রভৃতি গাঢ় H_2SO_4-এর মধ্যে যোগ করলে **কালো কার্বনে পরিণত হয়। ফর্মিক অ্যাসিড** থেকে CO এবং **অক্সালিক অ্যাসিড** থেকে CO এবং CO_2 গ্যাস পাওয়া যায়।

$$\underset{\text{চিনি}}{C_{12}H_{22}O_{11}} + H_2SO_4 = 12C + 11H_2O + H_2SO_4$$

$$\underset{\text{ফর্মিক অ্যাসিড}}{HCOOH} + H_2SO_4 = CO + H_2O + H_2SO_4$$

$$\underset{\text{অক্সালিক অ্যাসিড}}{\begin{matrix}COOH\\|\\COOH\end{matrix}} + H_2SO_4 = CO + CO_2 + H_2O + H_2SO_4$$

গাঢ় H_2SO_4-এর জলের প্রতি তীব্র আসক্তি থাকার জন্য নিরুদকরূপে ব্যবহৃত হয়। N_2, O_2, Cl_2, SO_2 প্রভৃতি গ্যাসগুলির সঙ্গে গাঢ় H_2SO_4-এর বিক্রিয়া হয় না। সেজন্য ওই গ্যাসগুলিকে শুষ্ক করার জন্য গাঢ় H_2SO_4 ব্যবহার করা হয়।

(4) জারণ-ক্ষমতা ঃ গাঢ় H_2SO_4-এর জারণ-ক্ষমতা আছে। অনেক ধাতু, অধাতু এবং যৌগ গাঢ় H_2SO_4 দ্বারা জারিত হয়। H_2SO_4 **উত্তপ্ত অবস্থায় বিয়োজিত হয়ে SO_2, H_2O এবং জায়মান অক্সিজেন উৎপন্ন করে। উৎপন্ন জায়মান অক্সিজেন পদার্থকে জারিত করে।** $H_2SO_4 = H_2O + SO_2 + O \uparrow$

● **গাঢ় H_2SO_4-এর জারণ ধর্ম আছে কিন্তু বিজারণ ধর্ম নেই কেন?**

H_2SO_4-এর মধ্যে S পরমাণুটি সর্বোচ্চ জারণ অবস্থায় আছে, এর মধ্যে S পরমাণুর সর্বোচ্চ জারণ সংখ্যা (+6)। এর নীচের জারণ সংখ্যাগুলি (+4), (0) এবং (–2)। রাসায়নিক বিক্রিয়ার সময় H_2SO_4-এর S পরমাণু (+6) জারণ অবস্থা থেকে নীচের জারণ অবস্থা (+4)-এ কিংবা (0) জারণ অবস্থায় চলে যেতে পারে।

$$H_2\overset{-2}{S} \quad \overset{0}{S} \quad \overset{+4}{S}O_2 \quad H_2\overset{+6}{S}O_4$$

অর্থাৎ SO_2 কিংবা S-এ পরিণত হতে পারে। (+6) জারণ অবস্থা থেকে (+4) কিংবা (0) জারণ অবস্থায় গেলে H_2SO_4-এর S পরমাণুর জারণ সংখ্যা কমে যায়, ফলে বিজারিত হয় এবং অপরকে জারিত করে।

$$\overset{0}{Cu} + 2H_2\overset{+6}{S}O_4 = \overset{+2}{Cu}SO_4 + \overset{+4}{S}O_2 + 2H_2O$$

(জারণ: Cu → $CuSO_4$; বিজারণ: H_2SO_4 → SO_2)

H_2SO_4 কখনো বিজারণ করতে পারে না কারণ বিজারণ করতে হলে নিজেকে জারিত হতে হয়, অর্থাৎ জারণ সংখ্যা বাড়াতে হয়। যেহেতু H_2SO_4-এ S-এর জারণ সংখ্যা সর্বোচ্চ (+6), S-এর জারণ সংখ্যা এর বেশি হতে পারে না, তাই H_2SO_4-এর S পরমাণুর জারণ সংখ্যা বাড়ানোর কোনো সুযোগ নেই। তাই H_2SO_4-এর বিজারণ ধর্ম নেই।

(5) যৌগের জারণ ঃ (i) পটাশিয়াম আয়োডাইড, পটাশিয়াম ব্রোমাইড গাঢ় H_2SO_4 দ্বারা জারিত হয়ে যথাক্রমে I_2 এবং Br_2 উৎপন্ন করে।

$$2K\overset{-1}{I} + 2H_2SO_4 = K_2SO_4 + \overset{0}{I_2} + 2H_2O + SO_2$$

অনুরূপে, $$2K\overset{-1}{Br} + 2H_2SO_4 = K_2SO_4 + \overset{0}{Br_2} + 2H_2O + SO_2$$

(ii) ফেরাস সালফেট H_2SO_4 দ্বারা জারিত হয়ে ফেরিক সালফেটে পরিণত হয়।

$$2\overset{+2}{Fe}SO_4 + 2H_2SO_4 = \overset{+3}{Fe_2}(SO_4)_3 + 2H_2O + SO_2$$

(iii) H_2S-কে জারিত করে S-এর অধঃক্ষেপ ফেলে।

$$H_2SO_4 + H_2\overset{-2}{S} = SO_2 + \overset{0}{S} + 2H_2O$$

(6) অধাতুর জারণ ঃ গাঢ় এবং উত্তপ্ত H_2SO_4 কার্বনকে জারিত করে CO_2 উৎপন্ন করে এবং সালফারকে জারিত করে SO_2 উৎপন্ন করে। ফসফরাস H_2SO_4 দ্বারা জারিত হয়ে ফসফরিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে।

(i) কার্বনের জারণ ঃ $$2H_2SO_4 + \overset{0}{C} = 2H_2O + 2SO_2 + \overset{+4}{C}O_2 \uparrow$$

(ii) সালফারের জারণ ঃ $$2H_2SO_4 + \overset{0}{S} = 2H_2O + 3\overset{+4}{S}O_2$$

(iii) ফসফরাসের জারণ ঃ $$2\overset{0}{P} + 5H_2SO_4 = 2H_3\overset{+5}{P}O_4 + 5SO_2 + 2H_2O$$

(7) ধাতুর জারণ ঃ (a) গাঢ় ও উত্তপ্ত H_2SO_4 কপার, জিঙ্ক, লেড, মারকারি, সিলভার, আয়রন প্রভৃতি ধাতুকে সালফেট লবণে জারিত করে এবং প্রতি ক্ষেত্রে SO_2 নির্গত হয়।

$$2H_2SO_4 + \overset{0}{Cu} = \overset{+2}{Cu}SO_4 + SO_2 + 2H_2O$$

অনুরূপে, $$Zn + 2H_2SO_4 = ZnSO_4 + SO_2 + 2H_2O$$
$$2Ag + 2H_2SO_4 = Ag_2SO_4 + SO_2 + 2H_2O$$

(b) ধাতুর সঙ্গে লঘু H_2SO_4-এর ক্রিয়া ঃ জিঙ্ক, আয়রন, ম্যাগনেশিয়াম, অ্যালুমিনিয়াম প্রভৃতি ধাতুগুলি—যেগুলি তড়িৎ রাসায়নিক শ্রেণিতে H-এর উপরে আছে, সেই ধাতুগুলি লঘু H_2SO_4-এ দ্রবীভূত হয়ে **সালফেট লবণ** উৎপন্ন করে এবং প্রতি ক্ষেত্রে **হাইড্রোজেন গ্যাস নির্গত হয়।**

$$Zn + H_2SO_4 = ZnSO_4 + H_2 \quad ; \quad Mg + H_2SO_4 = MgSO_4 + H_2$$
$$2Al + 3H_2SO_4 = Al_2(SO_4)_3 + 3H_2$$

(c) কার্বনেটের সঙ্গে ক্রিয়া ঃ সালফিউরিক অ্যাসিড **কার্বনেট ও বাই-কার্বনেট লবণ থেকে কার্বন ডাইঅক্সাইড মুক্ত করে।**

$$Na_2CO_3 + H_2SO_4 = Na_2SO_4 + CO_2 + H_2O$$
$$NaHCO_3 + H_2SO_4 = NaHSO_4 + CO_2 + H_2O$$

(8) ক্লোরাইড, নাইট্রেট প্রভৃতি অন্যান্য উদ্‌বায়ী অ্যাসিডের লবণের সঙ্গে গাঢ় H_2SO_4 মিশিয়ে উত্তপ্ত করলে উদ্‌বায়ী অ্যাসিডগুলি (HCl, HNO_3) পাতিত হয়।

$$NaCl + H_2SO_4 = NaHSO_4 + HCl\uparrow$$
$$NaNO_3 + H_2SO_4 = NaHSO_4 + HNO_3\uparrow$$

(9) গাঢ় H_2SO_4 অনেক সময় জৈব যৌগে **সালফনেট মূলক** (SO_3H) যুক্ত করে। যেমন বেঞ্জিনের সঙ্গে গাঢ় H_2SO_4-এর বিক্রিয়ায় **বেঞ্জিন সালফনিক অ্যাসিড** উৎপন্ন হয়।

$$C_6H_6 + H_2SO_4 = C_6H_5SO_3H + H_2O$$

● **সালফিউরিক অ্যাসিডের শনাক্তকরণ পরীক্ষা ঃ**

(i) সালফিউরিক অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণে বেরিয়াম ক্লোরাইড দ্রবণ যোগ করলে অদ্রাব্য বেরিয়াম সালফেটের সাদা অধঃক্ষেপ পড়ে। এই সাদা অধঃক্ষেপ HCl বা HNO_3-তে অদ্রাব্য।

$$H_2SO_4 + BaCl_2 = \underset{\text{সাদা}}{BaSO_4}\downarrow + 2HCl$$

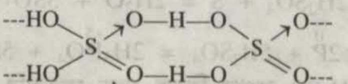
(ii) সালফেট (SO_4^{--}) মূলকের শনাক্তকরণ ঃ দ্রাব্য সালফেট লবণের পাতিত জলে দ্রবণের সঙ্গে $BaCl_2$ দ্রবণ যোগ করলে অদ্রাব্য $BaSO_4$-এর সাদা অধঃক্ষেপ পড়ে যা HCl বা HNO_3-তে দ্রবীভূত হয় না।

$$Na_2SO_4 + BaCl_2 = BaSO_4\downarrow + 2NaCl$$

1.53. সালফিউরিক অ্যাসিডের ব্যবহার [Uses of H_2SO_4]

(i) হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড, নাইট্রিক অ্যাসিডের শিল্প প্রস্তুতিতে সুপার ফসফেট, অ্যামোনিয়াম সালফেট প্রভৃতি সার প্রস্তুতিতে সালফিউরিক অ্যাসিড ব্যবহৃত হয়। **(ii)** বিস্ফোরক দ্রব্য, নানারকম রঞ্জক, ফটকিরি, গ্লুকোজ, ইথার, অ্যালকোহল ইত্যাদি প্রস্তুতিতে সালফিউরিক অ্যাসিড ব্যবহৃত হয়। **(iii)** পেট্রোলিয়াম শোধনে দস্তালেপনে, H_2SO_4 ব্যবহৃত হয়। **(iv)** পরীক্ষাগারে CO, ইথিলিন প্রস্তুতিতে, বিভিন্ন গ্যাস শুষ্ক করতে এবং বিকারকরূপে H_2SO_4 ব্যবহৃত হয়। **(v)** ধাতু নিষ্কাশনে, কৃত্রিম রেশম ও ফিল্ম প্রস্তুতে ব্যবহৃত হয়। **(vi)** স্টোরেজ সেলে H_2SO_4 ব্যবহৃত হয়।

● **গাঢ় H_2SO_4-এর স্ফুটনাঙ্ক বেশি কেন?** গাঢ় H_2SO_4-এ প্রতিটি H_2SO_4 অণু পরস্পরের সঙ্গে H-বন্ধন দ্বারা পরস্পর সংযোজিত অবস্থায় থাকে। তাই এই বিরাট সংখ্যক H বন্ধনকে ভাঙতে বেশি তাপ শক্তির দরকার হয়। এই কারণে গাঢ় H_2SO_4-এর স্ফুটনাঙ্ক অনেক বেশি (338°C) এবং এইজন্যই গাঢ় H_2SO_4 সান্দ্র এবং অন্যান্য অ্যাসিডের তুলনায় ভারী।



● **সালফিউরিক অ্যাসিডের মধ্যে হাইড্রোজেন, সালফার এবং অক্সিজেন আছে তার প্রমাণ ঃ**

পরীক্ষা ঃ একটি পাতন ফ্লাস্কের মধ্যে লোহিততপ্ত ঝামা পাথরের উপর ফোঁটা ফোঁটা গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড ফেলা হল। এর ফলে সালফিউরিক অ্যাসিড বিয়োজিত হয়ে যে গ্যাসগুলি উৎপন্ন করে সেই গ্যাসগুলিকে প্রথমে বরফের মধ্যে রাখা U-টিউবের মধ্যে দিয়ে, পরে হিমমিশ্রে রাখা U-টিউবের মধ্য দিয়ে অতিক্রম করানো হল। এর ফলে দেখা গেল, শেষ U-টিউবের নির্গম নল থেকে একটি বর্ণহীন গ্যাস বের হয়—যার মধ্যে একটি শিখাহীন জ্বলন্ত পাটকাঠি উজ্জ্বল হয়ে জ্বলে ওঠে এবং গ্যাসটি ক্ষারীয় পাইরোগ্যালেট দ্রবণে শোষিত হয়। এর দ্বারা প্রমাণিত হয় যে গ্যাসটি **অক্সিজেন—**এই অক্সিজেন সালফিউরিক অ্যাসিড থেকে আসে।

বরফে রাখা U-টিউবের মধ্যে একটি বর্ণহীন তরল জমা হয়—এই তরলটি সাদা অনার্দ্র $CuSO_4$-কে নীল করে। এতে প্রমাণিত হল তরলটি জল। জলে হাইড্রোজেন থাকে। এই হাইড্রোজেন সালফিউরিক অ্যাসিড থেকে আসে।

হিমমিশ্রে যে তরলটি জমা হয়, ওকে একটি বদ্ধ কাচের বাল্‌বের মধ্যে নিয়ে 150°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত করা হলে হলুদ রং-এর অধঃক্ষেপ পাওয়া যায়। এই অধঃক্ষেপ সংগ্রহ করে দেখা গেল হলুদ পদার্থটি CS_2-তে দ্রাব্য এবং একে পোড়ালে পোড়া বারুদের গন্ধবিশিষ্ট গ্যাস নির্গত হয়। উৎপন্ন এই গ্যাসের মধ্যে আম্লিক $K_2Cr_2O_7$ দ্রবণে ভেজানো কাগজ ধরলে কমলা রং সবুজ হয়ে যায়। এতে প্রমাণিত হয় গ্যাসটি SO_2। SO_2-এর মধ্যে **সালফার** আছে—এই সালফার সালফিউরিক অ্যাসিড থেকে আসে।

$$2H_2SO_4 = 2H_2O + 2SO_2 + O_2 \quad ; \quad 3SO_2 + 2H_2O \xrightarrow{150°C} 2H_2SO_4 + S\downarrow$$

অনুশীলনী

[A] অক্সিজেন, ভারী জল, H_2O_2 এবং ওজোন ঃ

1. (a) পরীক্ষাগারে অক্সিজেন গ্যাস কীভাবে তৈরি করা হয়?

(b) সোডিয়াম ধাতু এবং সালফারের সঙ্গে অক্সিজেনের বিক্রিয়াগুলি বর্ণনা করো এবং প্রতি ক্ষেত্রে উৎপাদিত যৌগগুলির সঙ্গে জল মেশালে কী উৎপন্ন হবে?

2. (a) সাধারণ উষ্ণতায় পরীক্ষাগারে কী উপায়ে অক্সিজেন গ্যাস প্রস্তুত করা হয়?

(b) মারকিউরিক অক্সাইডকে উত্তপ্ত করে কোন গ্যাস পাওয়া যায়? বিক্রিয়াটির সমীকরণ দাও।

4. (i) তুমি কীভাবে প্রমাণ করবে যে নীচের পদার্থগুলির মধ্যে অক্সিজেন আছে?—**(a)** সোডিয়াম নাইট্রাইট, **(b)** সালফিউরিক অ্যাসিড, **(c)** নাইট্রিক অ্যাসিড, **(d)** পটাশিয়াম পারম্যাঙ্গানেট, **(e)** বেরিয়াম পারক্সাইড, **(f)** নাইট্রিক অ্যাসিড।

(ii) লেড নাইট্রেট থেকে কীভাবে অক্সিজেন পাবে বর্ণনা করো।

5. কী শর্তে অক্সিজেন নীচের পদার্থগুলির সঙ্গে বিক্রিয়া করে সমীকরণ সহ লেখো—**(i)** হাইড্রোজেন, **(ii)** নাইট্রোজেন, **(iii)** সালফার, **(iv)** ফসফরাস, **(v)** সোডিয়াম, **(vi)** আম্লিক ফেরাস সালফেট দ্রবণ।

6. ভারি জল কাকে বলে? ভারি জলের প্রস্তুতি বর্ণনা করো। এই জলে স্নান করা কী স্বাস্থ্যের পক্ষে ভাল? ভারি জলের ব্যবহারগুলি লেখো।

7. (a) পরীক্ষাগারে হাইড্রোজেন পারক্সাইডের জলীয় দ্রবণ প্রস্তুতি বর্ণনা করো। এভাবে প্রাপ্ত হাইড্রোজেন পারক্সাইডকে কীভাবে গাঢ় করা হয়? **(b)** হাইড্রোজেন পারক্সাইড প্রস্তুতির তড়িদ্বিশ্লেষণ পদ্ধতিটির বর্ণনা করো।

8. (a) উদাহরণ সহ প্রমাণ করো যে, হাইড্রোজেন পারক্সাইড একটি জারক পদার্থ, বিজারক পদার্থ এবং মৃদু অ্যাসিড হিসাবে কাজ করে। **(b)** হাইড্রোজেন পারক্সাইডের দ্রবণকে কীভাবে বিয়োজিত হওয়া থেকে রক্ষা করা যায়?

9. হাইড্রোজেন পারক্সাইড প্রস্তুতিতে নীচের বক্তব্যগুলির কারণ ব্যাখ্যা করো—**(a)** শুষ্ক বেরিয়াম পারক্সাইডের পরিবর্তে বেরিয়াম পারক্সাইডের লেই অর্থাৎ সোদক বেরিয়াম পারক্সাইড ব্যবহার করা হয়। **(b)** H_2O_2 প্রস্তুতিতে গাঢ় H_2SO_4 অথবা HNO_3 ব্যবহার করা হয় না। **(c)** বেরিয়াম পারক্সাইডের লেই-এর মধ্যে লঘু H_2SO_4 যোগ না করে লঘু অ্যাসিডের মধ্যে BaO_2-এর লেই যোগ করা হয়।

10. (i) '10 volume H_2O_2'—বলতে কী বোঝ? **(ii)** BaO_2 থেকে H_2O_2 প্রস্তুতিতে H_2SO_4 -এর চেয়ে সিরাপীয় H_3PO_4 ব্যবহার করা সুবিধাজনক কেন? **(iii)** হাইড্রোজেন পারক্সাইড একটি মৃদু অ্যাসিড—বক্তব্যটির যথার্থতা বুঝিয়ে দাও।

11. (a) প্রমাণ করো—**(i)** H_2O_2 একটি জারক দ্রব্য, **(ii)** H_2O_2-এর পারক্সাইড যৌগ প্রস্তুত করার ধর্ম আছে, **(iii)** H_2O_2-এর মধ্যে হাইড্রোজেন এবং অক্সিজেন আছে। **(b)** মার্কস পারহাইড্রল কী? এটি কীরূপে প্রস্তুত করা হয়?

12. পরীক্ষাগারে ওজোনের প্রস্তুত প্রণালী বর্ণনা করো। **(ii)** ওজোনের জারণ এবং বিজারণ ক্রিয়ার উদাহরণ দাও।

13. কখন কী ঘটে— **(a)** HCl দ্বারা অম্লীকৃত স্ট্যানাস ক্লোরাইড দ্রবণে ওজোন চালনা করা হল। **(b)** একটি কাচের টিউবে রাখা পারদের উপর দিয়ে ওজোন গ্যাস চালনা করা হল। **(c)** অ্যাসিড যুক্ত পটাশিয়াম আয়োডাইড দ্রবণের মধ্যে O_3 চালনা করা হল। $FeSO_4$-এর উপস্থিতি বিক্রিয়াটির কোনো পরিবর্তন ঘটায় কী? **(d)** লিটমাস দ্রবণে ওজোন গ্যাস চালনা করা হল।

14. নীচের জোড়গুলির পার্থক্য নির্ণয়ে দুটি করে রাসায়নিক বিক্রিয়ার উল্লেখ করো—

(i) ওজোন এবং হাইড্রোজেন পারক্সাইড। **(ii)** অক্সিজেন এবং ওজোন। **(iii)** O_2 এবং নাইট্রাস অক্সাইড।

15. নীচের পদার্থগুলিকে পৃথক করবে কীভাবে?

(i) O_3 এবং O_2-এর মিশ্রণ থেকে O_2-কে, **(ii)** O_3 এবং O_2-এর মিশ্রণ থেকে O_3-কে, **(iii)** N_2O এবং O_2-এর মিশ্রণ থেকে O_2-কে।

16. সঠিক উত্তর নির্বাচন করো—

(i) নীচের অক্সাইডগুলির সঙ্গে HCl যোগ করলে কোনটি H_2O_2 দেবে? [*Ans.* (c)]

(a) MnO_2, (b) PbO_2, (c) BaO_2, (d) NO_2.

(ii) যে পদার্থের উপস্থিতিতে H_2O_2-এর বিয়োজন ত্বরান্বিত হয় তা হল— [*Ans.* (b)]

(a) গাঢ় H_2SO_4, (b) MnO_2, (c) গ্লিসারল, (d) H_3PO_4.

(iii) কালো হয়ে যাওয়া তৈলচিত্রের পুনরুদ্ধার করে— [*Ans.* (c)]

(a) ক্লোরিন, (b) BaO_2, (c) H_2O_2, (d) MnO_2.

(iv) একটি দ্রবণে H_2O_2-এর উপস্থিতি জানা যায় যার সাহায্যে তা হল— [*Ans.* (b)]

(a) স্টার্চ দ্রবণ, (b) পারক্রোমিক অ্যাসিড, (c) নেসলার দ্রবণ, (d) বলয় পরীক্ষা।

(v) H_2O_2-এর NaOH-এর বিক্রিয়ায় Na_2O_2 উৎপন্ন হয়। এই বিক্রিয়ায় H_2O_2-এর ব্যবহার হল— [*Ans.* (b)]

(a) জারক রূপে, (b) অ্যাসিড রূপে, (c) ক্ষারক রূপে, (d) বিজারক রূপে।

(vi) ভারি জল পাওয়া যায়—

(a) অনেকক্ষণ ধরে জলের বাষ্পীভবন দ্বারা, **(b)** জলের অবিরাম তড়িদ্‌বিশ্লেষণে, **(c)** জলের সঙ্গে ধাতুর বিক্রিয়া দ্বারা, **(d)** ম্যাস স্পেকট্রোগ্রাফ যন্ত্রের সাহায্যে। [*Ans.* (b)]

[B] সালফার এবং সালফারের যৌগসমূহ (H_2S, SO_2 এবং H_2SO_4) ঃ

1. সালফারের প্রাকৃতিক উৎসের নাম লেখো। আগ্নেয়গিরি অঞ্চলে সাধারণত সালফার দেখা যায় কেন?

2. ভূগর্ভ থেকে সালফারের নিষ্কাশন পদ্ধতি বর্ণনা করো। কীভাবে বিশুদ্ধ সালফার পাওয়া যায়?

3. **(i)** ধাতু নিষ্কাশনের সময় প্রাপ্ত উপজাত সালফার ডাইঅক্সাইড থেকে, **(ii)** নিঃশেষিত আয়রন অক্সাইড থেকে, **(iii)** জিপসাম খনিজ থেকে সালফার প্রস্তুতির উপায়গুলি বর্ণনা করো।

4. **(a)** সালফারের বিভিন্ন রূপভেদগুলির নাম করো। **(b)** সালফারের বিভিন্ন রূপভেদগুলির সংক্ষিপ্ত বিবরণ লেখো।

5. সালফারের সঙ্গে—**(i)** নাইট্রিক অ্যাসিড, **(ii)** গাঢ় H_2SO_4, **(iii)** কস্টিক সোডা, **(iv)** ক্লোরিন, **(v)** কোক এবং **(vi)** হাইড্রোজেনের বিক্রিয়ায় কী ঘটে সমীকরণ সহ বর্ণনা করো।

7. **(a)** পরীক্ষাগারে শুষ্ক সালফার ডাইঅক্সাইড গ্যাসের প্রস্তুতি বর্ণনা করো। **(b)** SO_2-এর ব্যবহার লেখো। **(c)** একটি গ্যাসের জলীয় দ্রবণকে বন্ধ কাচের নলে উত্তপ্ত করলে একটি কঠিন উৎপন্ন হয়। কঠিনটিকে বায়ুতে পোড়ালে আবার গ্যাসটি উৎপন্ন হয়। গ্যাসটিকে শনাক্ত করো। **(d)** SO_2 বিরঞ্জন করে কীভাবে? Cl_2 এবং SO_2-এর বিরঞ্জন ধর্মের তুলনা করো।

8. সালফার ডাইঅক্সাইডের সঙ্গে নীচের পদার্থগুলির বিক্রিয়ায় কী উৎপন্ন হয়, বিক্রিয়ার শর্ত এবং সমীকরণ সহ বিবৃত করো।

(i) চুনজল, **(ii)** ফেরিক ক্লোরাইড দ্রবণ, **(iii)** নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইড এবং জলীয় বাষ্পের মিশ্রণ, **(iv)** নাইট্রিক অ্যাসিড, **(v)** ক্লোরিন জল, **(vi)** ব্রোমিন জল, **(vii)** জলে প্রলম্বিত আয়োডিন, **(viii)** আম্লিক $KMnO_4$ দ্রবণ, **(ix)** হাইড্রোজেন সালফাইড, **(x)** HCl যুক্ত $FeCl_2$ দ্রবণ।

9. প্রমাণ করো যে— **(i)** SO_2 একটি আম্লিক অক্সাইড, **(ii)** সালফার ডাইঅক্সাইড একটি বিজারক দ্রব্য।

10. স্পর্শ পদ্ধতিতে সালফিউরিক অ্যাসিডের উৎপাদনের নীতি বর্ণনা করো।

11. **(a) প্রমাণ করো যে,** **(i)** গাঢ় H_2SO_4 একটি শক্তিশালী জারক, **(ii)** প্রমাণ করো গাঢ় H_2SO_4 একটি শক্তিশালী নিরুদক, **(iii)** গাঢ় H_2SO_4, HCl বা HNO_3-এর চেয়ে কম উদ্‌বায়ী, **(iv)** সালফিউরিক অ্যাসিডে হাইড্রোজেন, সালফার এবং অক্সিজেন আছে।

12. **(a)** পরীক্ষাগারে হাইড্রোজেন সালফাইড প্রস্তুতি বর্ণনা করো। এইভাবে প্রাপ্ত H_2S-কে কীভাবে বিশুদ্ধ করা হয়? H_2S-কে শনাক্ত করবে কীভাবে? **(b)** **(i)** সোডিয়াম সালফাইড থেকে, **(ii)** সালফার থেকে—কীভাবে H_2S প্রস্তুত করা হয় বর্ণনা করো।

13. কারণ ব্যাখ্যা করো— **(a)** জলীয় বাষ্পের অনুপস্থিতিতে SO_2 গ্যাস বিরঞ্জন করতে পারে না। **(b)** গাঢ় H_2SO_4 দ্বারা H_2S বা HBr-কে শুষ্ক করা যায় না। **(c)** ফেরিক ক্লোরাইড দ্রবণে H_2S চালনা করলে ঘোলা হয়ে যায়। **(d)** H_2S-এর জলীয় দ্রবণ কিছুক্ষণ খোলা বাতাসে রেখে দিলে ঘোলা হয়ে যায়। **(e)** KI-এর সঙ্গে H_2SO_4 (গাঢ়) উত্তপ্ত করলে বেগুনি গ্যাস নির্গত হয়। **(f)** লালবর্ণের ব্রোমিন জলে SO_2 চালনা করলে বর্ণহীন হয়। **(g)** SO_2 জারক এবং বিজারক উভয়রূপে কাজ করে। **(h)** SO_2 যুতযৌগ উৎপন্ন করতে পারে কিন্তু CO_2 যুতযৌগ উৎপন্ন করে না।

14. নীচের সালফার ঘটিত যৌগগুলির মধ্যে কোনটিতে সালফার **(i)** শুধু বিজারকরূপে, **(ii)** শুধু জারক রূপে, **(iii)** জারক এবং বিজারক উভয় রূপে কাজ করে?—H_2SO_4, H_2S, SO_2 উদাহরণ সহ ব্যাখ্যা করো।

15. নীচের রূপান্তরগুলি কীভাবে করবে সমীকরণ সহ বর্ণনা করো—

(i) H_2SO_3 থেকে H_2SO_4 এবং H_2SO_4 থেকে H_2SO_3, **(ii)** Na_2SO_4 থেকে H_2S, **(iii)** রম্বিক S থেকে মনোক্লিনিক S এবং মনোক্লিনিক S থেকে রম্বিক S, **(iv)** SO_2 থেকে SO_3 এবং H_2SO_4, **(v)** H_2SO_4 থেকে সালফার, **(vi)** S থেকে H_2SO_4।

16. সঠিক উত্তরগুলি নির্বাচন করো ঃ

(i) হাইড্রোজেন সালফাইড দেখায়—**(a)** জারণ ধর্ম, **(b)** বিজারণ ধর্ম, **(c)** ক্ষারীয় ধর্ম **(d)** অ্যাসিড ধর্ম। [*Ans.* (b), (d)]

(ii) SO_2-কে শোষণ করার জন্য কোনগুলি ব্যবহৃত হয়? **(a)** জল, **(b)** গাঢ় H_2SO_4, **(c)** KOH, **(d)** $CaCl_2$. [*Ans.* (c)]

(iii) O_2এর মধ্যে H_2S-এর অসম্পূর্ণ দহনে উৎপন্ন হয়—**(a)** H_2 এবং S, **(b)** H_2 এবং SO_2, **(c)** H_2O এবং S, **(d)** H_2O এবং SO_2. [*Ans.* (c)]

(iv) গাঢ় H_2SO_4 হল—**(a)** উদ্‌ত্যাগী পদার্থ, **(b)** জলাকর্ষী পদার্থ, **(c)** জারক পদার্থ, **(d)** বিজারক পদার্থ। [*Ans.* (b), (c)]

(v) নীচের কোনটি আম্লিক $KMnO_4$ দ্রবণকে বর্ণহীন করে?—**(a)** Na_2SO_4, **(b)** SO_3, **(c)** H_2SO_4, **(d)** SO_2. [*Ans.* (d)]

(vi) SO_2-এর বিরঞ্জন ক্ষমতার জন্য প্রয়োজনীয় হল—**(a)** O_2-এর উপস্থিতি, **(b)** জলীয় বাষ্পের উপস্থিতি, **(c)** সক্রিয় চারকোলের উপস্থিতি, **(d)** সূর্যালোকের উপস্থিতি। [*Ans.* (b)]

(vii) S পরমাণুর সর্বোচ্চ জারণ অবস্থা দেখা যায়—**(a)** S, **(b)** H_2S, **(c)** SO_3, **(d)** SO_2. [*Ans.* (c)]

● হ্যালোজেন পরিবার ●

ফ্লুওরিন, ক্লোরিন, ব্রোমিন, আয়োডিন এবং **অ্যাস্‌টাটিন**—এই পাঁচটি মৌল পর্যায়-সারণির VII B অর্থাৎ 17 গ্রুপে স্থান পেয়েছে। এই মৌল পাঁচটির বিভিন্ন ভৌত ও রাসায়নিক ধর্মে অনেক সাদৃশ্য আছে। সেজন্য এই পাঁচটি মৌলকে একই পরিবারভুক্ত বলে ধরা হয়। সমুদ্রের জলে ফ্লুওরিন, ক্লোরিন, ব্রোমিন ও আয়োডিন লবণ পাওয়া যায়। হ্যালোজেন শব্দের গ্রিক ভাষায় অর্থ হল—যা দিয়ে সমুদ্রের লবণ উৎপন্ন হয় (*Hals* = sea salt, *Genus* = to produce)। ফ্লুওরিন, ক্লোরিন, ব্রোমিন ও আয়োডিন—এই মৌলগুলিকে সেজন্য সাধারণভাবে **হ্যালোজেন** (Halogens) বলে, আর এই পরিবারকে **হ্যালোজেন পরিবার** (Halogen family) বলে। **হ্যালোজেন থেকে উৎপন্ন দ্বি-যৌগিক পদার্থগুলিকে হ্যালাইড** (Halides) বলে।

মৌলগুলির প্রায় সমস্ত ধর্মই একই রকম, কেবল ফ্লুওরিন খুব সক্রিয় বলে ওর কয়েকটি বিশেষ ধর্ম দেখা যায় এইসব ধর্মের মাত্রা অবশ্য পারমাণবিক গুরুত্ব বাড়ার সঙ্গো সঙ্গো বাড়ে বা কমে। এরা সকলেই অধাতু, সুতরাং ইলেকট্রো-নেগেটিভ মৌল। এদের মধ্যে ফ্লুওরিন সবচেয়ে তীব্র ইলেকট্রোনেগেটিভ মৌল। **এই ইলেকট্রোনেগেটিভ ধর্ম ফ্লুওরিন** এবং **অ্যাস্‌টাটিন পর্যন্ত ক্রমশ কমতে থাকে**। প্রত্যেকটি হ্যালোজেনের **জারক গুণ** আছে, আর প্রত্যেকেরই কমবেশি **বিরঞ্জন গুণ** দেখা যায়। পারমাণবিক গুরুত্ব বাড়ার সঙ্গো সঙ্গো এই গুণগুলির মাত্রা কমে আসে। এদের **হাইড্রাইডগুলির** মধ্যেও যথেষ্ট মিল দেখা যায়।

অ্যাস্‌টাটিন (At) এই গ্রুপের সর্বশেষ এবং তেজস্ক্রিয় মৌল যার স্থায়িত্ব খুব কম।

1.54. হ্যালোজেন মৌলগুলির উৎস [Occurrence of Halogens]

হ্যালোজেন মৌলগুলি তীব্র ইলেকট্রোনেগেটিভ বলে সবাই খুব সক্রিয়—তাই এদের কখনো মুক্ত অবস্থায় পাওয়া যায় না। অপর মৌলের সঙ্গো যুক্ত অবস্থায় যৌগরূপে হ্যালোজেন মৌলগুলিকে প্রকৃতির মধ্যে পাওয়া যায়—

(a) ফ্লুওরিনকে পাওয়া যায় **(i)** *ফ্লুওস্পার* (CaF_2), **(ii)** *ফ্লুওর অ্যাপেটাইট* [CaF_2, $3Ca_3(PO_4)_2$] এবং *ক্রায়োলাইট* (AlF_3, 3NaF) রূপে।

(b) ক্লোরিনকে পাওয়া যায়—**(i)** সাধারণ লবণ (NaCl), **(ii)** সমুদ্রের জলে এবং লবণের খনিতে প্রচুর সোডিয়াম ক্লোরাইড (NaCl, KCl, $MgCl_2$, $CaCl_2$) রূপে।

(c) ব্রোমিনকে পাওয়া যায়—**(i)** ক্ষার ধাতুর ব্রোমাইড লবণ রূপে, **(ii)** ক্ষারীয় মৃত্তিকা ধাতুগুলির ব্রোমাইড লবণরূপে (NaBr, KBr, $MgBr_2$) এবং সমুদ্র জলে।

(d) আয়োডিনকে পাওয়া যায়—**(i)** ক্ষার ধাতুর আয়োডাইড লবণ রূপে, সমুদ্রের আগাছায় সোডিয়াম আয়োডেট ($NaIO_2$) এবং চিলি সল্টপিটার (0·02% $NaIO_3$) রূপে।

1.55. হ্যালোজেন মৌলগুলির প্রস্তুতি [Preparation of Halogens]

(i) ফ্লুওরিন—ফ্লুওরিন হল তীব্র জারক তাই একমাত্র তড়িদ্‌বিশ্লেষণ পদ্ধতির দ্বারা বিশেষ প্রক্রিয়ার সাহায্যে **মসিঁয়ে** সর্বপ্রথম ফ্লুওরিন প্রস্তুত করতে সমর্থ হন। তিনি পটাশিয়াম ফ্লুওরাইড ও অনার্দ্র হাইড্রোজেন ফ্লুওরাইডের মিশ্রণকে (240—250°C) উষ্ণতায় দুটি গ্রাফাইট কার্বন নির্মিত দণ্ডকে যথাক্রমে অ্যানোড ও ক্যাথোড রূপে ব্যবহার করে ফ্লুওরিন গ্যাস উৎপন্ন করেন।

ক্যাথোডে : $2H^+ + 2e \rightarrow H_2\uparrow$ অ্যানোড : $2F - 2e \rightarrow F_2\uparrow$

এইভাবে প্রস্তুত F_2-এর সঙ্গো HF অশুদ্ধি রূপে উপস্থিত থাকে। উৎপন্ন F_2-কে NaF-এর উপর দিয়ে চালনা করে HF মুক্ত করা হয়।

হাইড্রোজেন ও ফ্লুওরিন পরস্পরের সংস্পর্শে এলে প্রচণ্ড বিস্ফোরণ ঘটে। এই বিস্ফোরণের সম্ভাবনা রোধ করার জন্য টেফ্লনের তৈরি একটি ডায়াফ্রামের সাহায্যে অ্যানোডকে ক্যাথোড থেকে পৃথক রাখার ব্যবস্থা করা হয়।

● **ফ্লুওরিন প্রস্তুতির রাসায়নিক পদ্ধতি :** সম্প্রতি ফ্লুওরিন প্রস্তুতির এক রাসায়নিক পদ্ধতির উপায় নির্ণয় করা হয়েছে। নীচের সমীকরণে তা দেখান হল—

$$2K_2MnF_6 + 4SbF_5 = 4KSbF_6 + 2MnF_3 + F_2$$

এই বিক্রিয়ায় তীব্র লুইস অ্যাসিড SbF_5, মৃদু লুইস অ্যাসিড MnF_4-কে তার লবণ থেকে পৃথক করে। উৎপন্ন MnF_4 দুঃস্থিত বলে বিয়োজিত হয়ে MnF_3 এবং F_2 দেয়।

(ii) ক্লোরিন—সাধারণ লবণের অর্থাৎ ব্রাইনের জলীয় দ্রবণের তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করে Cl_2 গ্যাসের শিল্প প্রস্তুতি করা হয়। পরীক্ষাগারে গাঢ় HCl-কে MnO_2 দ্বারা জারিত করে Cl_2 প্রস্তুত করা হয়।

$$4HCl + MnO_2 = MnCl_2 + Cl_2 + 2H_2O$$

গাঢ় HCl-কে $KMnO_4$ দ্বারা **সাধারণ উষ্ণতায়** জারিত করে ক্লোরিন পাওয়া যায়।

$$2KMnO_4\,(s) + 16HCl\,(aq) = 2KCl\,(aq) + 2MnCl_2\,(aq) + 5Cl_2\,(g) + 8H_2O\,(l)$$

এছাড়া কতকগুলি জারক পদার্থ যেমন $K_2Cr_2O_7$, রেডলেড Pb_3O_4, উত্তপ্ত অবস্থায় গাঢ় HCl-কে জারিত করে Cl_2 মুক্ত করে।

$$K_2Cr_2O_7 + 14HCl = 2KCl + 2CrCl_3 + 7H_2O + 3Cl_2$$

$$Pb_3O_4 + 8HCl = 3PbCl_2 + 4H_2O + Cl_2$$

সাধারণ উষ্ণতায় ব্লিচিং পাউডারের সঙ্গে HCl-এর বিক্রিয়ায় Cl_2 উৎপন্ন হয়।

$$(CaOCl)\,Cl + 2HCl = CaCl_2 + H_2O + Cl_2$$

ক্লোরাইড লবণের (NaCl, KCl) সাথে MnO_2 এবং গাঢ় H_2SO_4-এর বিক্রিয়ায় Cl_2 উৎপন্ন হয়।

$$2NaCl + MnO_2 + 3H_2SO_4 = 2NaHSO_4 + MnSO_4 + 2H_2O + Cl_2\uparrow$$

NaCl দ্রবণের তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করে অ্যানোডে Cl_2 মুক্ত হয়।

$$NaCl \rightleftharpoons Na^+ + Cl^- \quad ; \quad H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$$

ক্যাথোডে ঃ $2H^+ + 2e \rightarrow H_2$ অ্যানোডে ঃ $2Cl^- - 2e \rightarrow Cl_2$

(iii) ব্রোমিন ঃ প্রকৃতিজাত ব্রাইনের মধ্যে ব্রোমাইড লবণকে Cl_2 দ্বারা জারিত করে ব্রোমিনের শিল্প প্রস্তুতি করা হয়।

$$2Br^-\,(aq) + Cl_2\,(g) \rightarrow Br_2\,(l) + Cl^-\,(aq)$$

(iv) আয়োডিন—সমুদ্রের আগাছায় অথবা প্রকৃতিজাত ব্রাইনের মধ্যে থাকা আয়োডেট আয়নকে Cl_2 দ্বারা জারিত করে আয়োডিন প্রস্তুত করা হয়। এছাড়া চিলি সল্টপিটার আকরিকের মধ্যে থাকা আয়োডেটকে সোডিয়াম হাইড্রোজেন সালফাইট দ্বারা বিজারিত করে নীচের সমীকরণের ক্রম অনুযায়ী আয়োডিন উৎপন্ন করা হয়।

$$NaIO_3\,(aq) + 3NaHSO_3\,(aq) = NaI\,(aq) + 3NaHSO_4\,(aq)$$

$$NaISO_3\,(aq) + 5NaI\,(aq) + 3H_2SO_4\,(aq) = 3I_2\,(s) + 3Na_2SO_4\,(aq) + 3H_2O\,(l)$$

● হ্যালোজেন মৌলগুলির ভৌত ধর্ম (Physical properties of Halogens) ঃ

ধর্ম	ফ্লুওরিন [F]	ক্লোরিন [Cl]	ব্রোমিন [Br]	আয়োডিন [I]	At
(1) পরমাণু ক্রমাঙ্ক	9	17	35	53	85
(2) পাঃ গুরুত্ব	19	35·5	80	127	210
(3) আপেক্ষিক গুরুত্ব	বাতাসের চেয়ে সামান্য ভারী। 1·51	বাতাসের চেয়ে প্রায় $2\frac{1}{2}$ গুণ ভারী	3·19 তরল অবস্থা	4·94 কঠিন অবস্থা	কঠিন
(4) সাধারণ চাপ ও তাপমাত্রায় ভৌত অবস্থা, রং ও গন্ধ	ঝাঁঝাল গন্ধযুক্ত হালকা হলুদ রং-এর গ্যাস।	ঝাঁঝাল গন্ধযুক্ত সবুজাভ হলুদ রং-এর গ্যাস।	তীব্র ঝাঁঝাল গন্ধযুক্ত লাল রং-এর তরল।	ধূসর রং-এর উজ্জ্বল কেলাস, বাষ্পের রং বেগুনি	—
(5) জলে দ্রাব্যতা	জলকে বিশ্লিষ্ট করে।	জলে মোটামুটি দ্রাব্য।	ক্লোরিনের চেয়ে কম দ্রাব্য।	খুব সামান্য দ্রাব্য।	—
(6) ইলেকট্রন বিন্যাস	[He] $2s^2\ 2p^5$	[Ne] $3s^2\ 3p^5$	[Ar] $4s^2\ 4p^5$	[Kr] $5s^2\ 5p^5$	[Xe] $4f^{14}5d^{10}6s^2 6p^5$
(7) তড়িৎ-ঋণাত্মকতা	4·0	3·2	3·0	2·7	—
(8) সমযোজী ব্যাসার্ধ (pm)	64	99	114	133	—
(9) আয়নীয় ব্যাসার্ধ (pm)	133	184	196	220	—
(10) X—X বন্ধন দূরত্ব (pm)	143	199	228	266	—

প্রদত্ত তালিকায় স্পষ্টই দেখা যায় যে, **(i) পারমাণবিক গুরুত্ব বাড়ার সঙ্গে সঙ্গে** অর্থাৎ VII B বা 17 গ্রুপের নীচের দিকে যাওয়ার সাথে সাথে মৌলগুলির আপেক্ষিক গুরুত্ব, পারমাণবিক এবং আয়নীয় ব্যাসার্ধ, গলনাঙ্ক ইত্যাদি বাড়তে থাকে।

(ii) গ্যাসীয় অবস্থায় এরা সকলেই দ্বি-পরমাণুক ও গ্যাসের রং-ও বিভিন্ন।

(iii) দ্রাব্যতা ক্লোরিন থেকে আয়োডিন পর্যন্ত কমতে থাকে।

(iv) মৌলগুলির দ্বি-পরমাণুক অণুর স্থায়িত্ব পারমাণবিক সংখ্যা বাড়ার সঙ্গে সঙ্গে কমে যায়। 1100°C উষ্ণতাতেও ফ্লুওরিন অণু খুব সামান্য বিয়োজিত হয়, কিন্তু মাত্র 300°C উষ্ণতায় আয়োডিনের দ্বি-পরমাণুক অণুগুলির বেশ কিছু অংশ বিয়োজিত হয়ে এক-পরমাণুক অণুতে পরিণত হয়।

(v) অধাতব ধর্ম— হ্যালোজেন মৌলগুলির আয়নায়ন বিভব বেশি হওয়ার জন্য ওদের মধ্যে অধাতব ধর্ম বেশি প্রকাশ পায়। এই অধাতব ধর্ম গ্রুপের নীচের দিকে যাওয়ার সাথে সাথে কমে। তাই আয়োডিনের মধ্যে কয়েকটি ধাতব ধর্মের স্পষ্ট প্রকাশ পাওয়া যায়—যেমন, আয়োডিনের ধাতব দ্যুতি আছে এবং আয়োডিন I^+ ও I^{3+} ক্যাটায়ন উৎপন্ন করে।

VII B গ্রুপের উপর থেকে যত নীচের দিকে নামা যায় হ্যালোজেন মৌলগুলির ইলেকট্রন আসক্তি ততই কমতে থাকে। তবে ক্লোরিনের ইলেকট্রন আসক্তি F_2-এর চেয়ে বেশি।

(vi) জারণ অবস্থা—হ্যালোজেন মৌলগুলির সাধারণত –1 এবং +1 জারণ অবস্থা দেখা যায়। যেহেতু F_2 হল সবচেয়ে বেশি ইলেকট্রোনেগেটিভ মৌল তাই সবক্ষেত্রেই F-এর জারণ অবস্থা –1 থাকে। একমাত্র F ছাড়া অন্যান্য হ্যালোজেনগুলি +1, +3, +5 এবং +7 জারণ অবস্থা দেখায়। এই হ্যালোজেনগুলির *d* অর্বিট্যাল খালি থাকার জন্য ওদের এই বিভিন্ন রকম জারণ অবস্থা দেখা যায়।

(vii) বন্ধনের প্রকৃতি—Group IA এবং IIA ধাতুগুলির সঙ্গে হ্যালোজেন মৌলগুলি সর্বদা আয়নীয় বন্ধন দ্বারা যুক্ত হয়। এর পর যত ডানদিকে এগোনো হয় সমযোজী বন্ধন বেশি দেখা যায়। যেমন, AlF_3-এর মধ্যে Al—F বন্ধনটি নিশ্চিতভাবে আয়নীয় বন্ধন কিন্তু গ্রুপের যত নীচের দিকে যাওয়া যায়, যেমন $AlBr_3$, $AlCl_3$-এর মধ্যে সমযোজী বন্ধন সৃষ্টির প্রবণতা বাড়ে।

1.56. হ্যালোজেন মৌলগুলির রাসায়নিক ধর্মের তুলনা [Difference of chemical properties of Halogens]

(1) সক্রিয়তা ঃ সব হ্যালোজেনগুলিই সক্রিয় তবে ওদের মধ্যে F হল সব চেয়ে বেশি সক্রিয়। গ্রুপের যত নীচের দিকে যাওয়া যায় মৌলগুলির ইলেকট্রোনেগেটিভিটি ক্রমশ কমে যাওয়ার জন্য এই সক্রিয়তা ক্রমশ কমতে থাকে। আসলে সাধারণত কম পরমাণু ক্রমাঙ্কবিশিষ্ট হ্যালোজেন, বেশি পরমাণু ক্রমাঙ্কের হ্যালাইড আয়নগুলিকে জারিত করে। ক্লোরাইড, ব্রোমাইড ও আয়োডাইড লবণ থেকে ফ্লুওরিন যথাক্রমে Cl_2, Br_2 এবং I_2-কে মুক্ত করে এবং প্রত্যেক ক্ষেত্রে ফ্লুওরাইড লবণ উৎপন্ন করে। ব্রোমাইড ও আয়োডাইড লবণ থেকে ক্লোরিন যথাক্রমে Br_2 এবং I_2 মুক্ত করে প্রতিক্ষেত্রে ক্লোরাইড লবণ উৎপন্ন করে। ব্রোমিন শুধু আয়োডাইড লবণ থেকে I_2 মুক্ত করে। আয়োডিন এইরকম বিক্রিয়া করতে পারে না। F > Cl > Br > I.

$$2KCl + F_2 = 2KF + Cl_2\uparrow \quad ; \quad 2KBr + Cl_2 = 2KCl + Br_2\uparrow$$
$$2KI + Br_2 = 2KBr + I_2\uparrow$$

(2) জারণ ক্ষমতা ঃ হ্যালোজেনগুলির তীব্র ইলেকট্রন আসক্তির জন্য ওদের প্রত্যেকেরই ইলেকট্রন গ্রহণ করার ক্ষমতা বেশ তীব্র। হ্যালোজেনগুলির জারণ ক্ষমতা গ্রুপের যত নীচের দিকে যাওয়া যায় অর্থাৎ ফ্লুওরিন থেকে আয়োডিনে হ্রাস পায়।

$$F > Cl > Br > I.$$

Cl_2, Br_2 এবং I_2-এর জারণ ক্ষমতা উদাহরণসহ নীচে দেওয়া হল—

(i) $2FeSO_4 + H_2SO_4 + Cl_2 = Fe_2(SO_4)_3 + 2HCl.$ Br_2 এবং I_2 অনুরূপ বিক্রিয়া করে।

(ii) $H_2S + X_2 = 2HX + S\downarrow$ $X = Cl, Br, I$

(iii) আর্দ্র SO_2, Cl_2, Br_2 এবং I_2 দ্বারা H_2SO_4-এ জারিত হয়।

$$SO_2 + 2H_2O + Cl_2 = H_2SO_4 + 2HCl,$$

(iv) $Na_2S_2O_3 + H_2O + Cl_2 = Na_2SO_4 + 2HCl + S\downarrow$, Br_2 অনুরূপ বিক্রিয়া করে।

কিন্তু I_2 অন্যরকম বিক্রিয়া করে—$2Na_2S_2O_3 + I_2 = Na_2S_4O_6 + 2NaI$

(3) অক্সাইড ঃ ফ্লুওরিন O_2-এর সঙ্গে F_2O উৎপন্ন করে। এছাড়া F_2O_2 অক্সাইডও আছে। যেহেতু O_2-এর চেয়ে F_2 বেশি ইলেকট্রোনেগেটিভ তাই এই যৌগগুলিকে অক্সাইড না বলে **ফ্লুওরাইড** বলাই উচিত। এই যৌগগুলিতে অক্সিজেন **পজিটিভ জারণ**

অবস্থায় থাকে। ক্লোরিন, ব্রোমিন ও আয়োডিন O_2-এর সঙ্গে বিভিন্ন অক্সাইড উৎপন্ন করে যেগুলির মধ্যে ওদের জারণ অবস্থা +1 থেকে +7 পর্যন্ত হতে পারে। Cl-এর কয়েকটি বিশেষ অক্সাইড হল—$\overset{+1}{Cl_2}O$, $\overset{+2}{Cl_2}O_2$, $\overset{+6}{Cl_2}O_6$, $\overset{+7}{Cl_2}O_7$। ClO_2 হল তীব্র জারক—তাপ অথবা সামান্য আঘাতে তীব্র বিস্ফোরণ সহ বিশ্লিষ্ট হয়ে যায়।

ব্রোমিন, অক্সিজেনের সঙ্গে $\overset{+1}{Br_2}O$, $\overset{+4}{Br}O_2$, Br_3O_8 অস্থায়ী অক্সাইড উৎপন্ন করে। আয়োডিন O_2-এর সঙ্গে I_2O_4, I_2O_5, I_2O_7 প্রভৃতি কয়েকটি অপেক্ষাকৃত স্থায়ী অক্সাইড উৎপন্ন করে। হ্যালোজেনগুলির বিভিন্ন অক্সাইডগুলিতে হ্যালোজেন মৌলগুলির জারণ অবস্থা কী হবে পাশের চার্টে দেখানো হল।

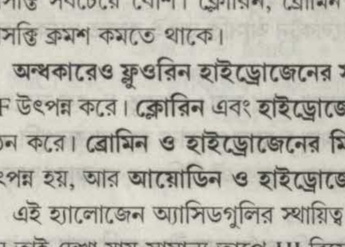
জারণ-অবস্থা	F_2	Cl_2	Br_2	I_2
+7	—	Cl_2O_7	—	I_2O_7
+6	—	Cl_2O_6	—	—
+5	—	—	—	I_2O_5
+4	—	ClO_2	BrO_2	I_2O_4
+3	—	—	—	—
+1	—	Cl_2O	Br_2O	—
–1	OF_2	—	—	—
–2	O_2F_2	—	—	—

(4) হাইড্রাইড ঃ হাইড্রোজেনের প্রতি আসক্তি সব হ্যালোজেনেরই আছে, তবে কারও কম বা কারও বেশি। হাইড্রোজেনের প্রতি ফ্লুওরিনের আসক্তি সবচেয়ে বেশি। ক্লোরিন, ব্রোমিন ও আয়োডিনের ক্ষেত্রে এই আসক্তি ক্রমশ কমতে থাকে।

অন্ধকারেও ফ্লুওরিন হাইড্রোজেনের সঙ্গে বিস্ফোরণ সহ যুক্ত হয়ে HF উৎপন্ন করে। **ক্লোরিন** এবং **হাইড্রোজেন সূর্যালোকে যুক্ত হয়ে** HCl গঠন করে। **ব্রোমিন ও হাইড্রোজেনের মিশ্রণকে উত্তপ্ত** করলে HBr উৎপন্ন হয়, আর **আয়োডিন ও হাইড্রোজেন অনুঘটকের উপস্থিতিতে যুক্ত হয়ে HI গঠন করে।**

এই হ্যালোজেন অ্যাসিডগুলির স্থায়িত্ব HF থেকে শুরু করে, HI পর্যন্ত ক্রমশ হ্রাস পেতে থাকে। HI-এর স্থায়িত্ব সবচেয়ে কম তাই দেখা যায় সামান্য তাপে HI বিয়োজিত হয়ে H_2 এবং I_2-তে পরিণত হয়। $2HI \rightleftharpoons H_2 + I_2$

একমাত্র HF ছাড়া অন্যান্য হাইড্রাইডগুলি যেমন HCl, HBr, HI হল গ্যাসীয়। জলীয় দ্রবণে সব হ্যালোজেন হাইড্রাইডগুলি অ্যাসিডের মতো আচরণ করে, যদিও এই যৌগগুলিতে H—X ($X = F^-; Cl^-; Br^-; I^-$) বন্ধন হল সমযোজী। তবু জলীয় দ্রবণে অ্যাসিডগুলি H_3O^+ এবং X^- আয়নে বিয়োজিত হয়। অ্যাসিডগুলির তীব্রতা H—X বন্ধন শক্তির উপর নির্ভর করে। এই বন্ধন শক্তির বৃদ্ধির ক্রম হল—(H—I) < (H—Br) < (H—Cl) < (H—F). যেহেতু (H—I) বন্ধনটি সবচেয়ে দুর্বল, তাই HI থেকে সহজেই H^+ আয়ন বিচ্ছিন্ন হতে পারে, অপর দিকে F তীব্র ইলেকট্রোনেগেটিভ এবং আকার ছোটো হওয়ার জন্য একটি HF অণুর F পরমাণুর সঙ্গে অপর HF অণুর H পরমাণুর সঙ্গে H-বন্ধন সৃষ্টি হওয়ার ফলে HF অণুগুলি H—F .... H—F রূপে সংযোজিত অবস্থায় থাকে বলে দ্রবণে বেশি H_3O^+ আয়ন দিতে পারে না—তাই HF হল মৃদু অ্যাসিড এবং HI হল সবচেয়ে তীব্র অ্যাসিড।



চিত্র 1.29

$$HF < HCl < HBr < HI$$

(5) হ্যালাইড ঃ সাধারণভাবে প্রায় সব ধাতু এবং অধাতুই (নিষ্ক্রিয় গ্যাসগুলি ছাড়া) হ্যালোজেন মৌলগুলির সঙ্গে বিক্রিয়া করে হ্যালাইড যৌগ উৎপন্ন করে।

(a) ইলেকট্রোপজিটিভ ধাতুগুলি যেমন Na, K, Mg, Ca প্রভৃতি ধাতুগুলির সঙ্গে (যেগুলির আয়নায়ন বিভব কম) বিক্রিয়া করে আয়নীয় হ্যালাইড উৎপন্ন করে। এই হ্যালাইডগুলির গলনাঙ্ক এবং স্ফুটনাঙ্ক খুব বেশি। VII B Group-এর যত নীচের দিকে যাওয়া যায় হ্যালাইডগুলির আয়নীয় চরিত্র হ্রাস পেতে থাকে। MF > MCl > MBr > MI

(b) যে ধাতুগুলির আয়নায়ন বিভব অপেক্ষাকৃত বেশি যেমন Pb, Sn, Sb প্রভৃতির সঙ্গে হ্যালোজেন সমযোজী হ্যালাইড দেয়। এই ধাতুগুলি, বেশি জারণ অবস্থায় সমযোজী যৌগ উৎপন্ন করে, যেমন $\overset{+4}{Sn}Cl_4$, $\overset{+4}{Pb}Cl_4$।

যে হ্যালাইডগুলি অপেক্ষাকৃত কম জারণ অবস্থায় থাকে যেমন, $\overset{+2}{Sn}Cl_2$, $\overset{+2}{Pb}Cl_2$ সেগুলির সমযোজী চরিত্র অপেক্ষাকৃত কম হয়।

(c) P, S, As প্রভৃতি অধাতুগুলি সহজেই হ্যালোজেন মৌলের সাথে যুক্ত হয়ে সমযোজী হ্যালাইড PCl_3, PBr_3, S_2Cl_2 ইত্যাদি উৎপন্ন করে।

(6) জলের সঙ্গে বিক্রিয়া ঃ (i) ফ্লুওরিন জলকে বিশ্লিষ্ট করে HF, O_2 এবং O_3 উৎপন্ন করে।

$$2H_2O + 2F_2 = 4HF + O_2\uparrow \quad ; \quad 3H_2O + 3F_2 = 6HF + O_3\uparrow$$

(ii) ক্লোরিন জলে বিশ্লিষ্ট হয়ে HCl এবং O_2 দেয়, ব্রোমিন জল সূর্যালোকে ধীরে ধীরে বিশ্লিষ্ট হয়ে HBr এবং O_2 দেয়, জলের সঙ্গে আয়োডিনের কোনো বিক্রিয়া হয় না। $2X_2 + 2H_2O = 4HX + O_2$ (X = Cl, Br)

বিরঞ্জন ক্ষমতা—আর্দ্র Cl_2-এর বিরঞ্জন ক্ষমতা আছে কারণ Cl_2 জলের সঙ্গে বিক্রিয়া করে জায়মান অক্সিজেন দেয় যা রঙিন বস্তুকে বিরঞ্জিত করে। $H_2O + Cl_2 = 2HCl + O$

$$\text{রঙিন পদার্থ} \xrightarrow[\text{জারণ}]{[O]} \text{বিরঞ্জিত পদার্থ}$$

(7) তীব্র ক্ষারের সঙ্গে বিক্রিয়া ঃ

মৌল	শীতল ও লঘু ক্ষার দ্রবণের সাথে	উষ্ণ ও গাঢ় ক্ষার দ্রবণের সাথে
ফ্লুওরিন [F]	ফ্লুওরাইড ও অক্সিজেন ডাইফ্লুওরাইড দেয়। $2NaOH + 2F_2 = OF_2 + 2NaF + H_2O$	ফ্লুওরাইড ও অক্সিজেন দেয়। $4NaOH + 2F_2 = 4NaF + 2H_2O + O_2$
ক্লোরিন, ব্রোমিন ও আয়োডিন [X = Cl, Br, I]	হ্যালাইড ও হাইপো হ্যালাইট দেয়। $2NaOH + X_2 = NaX + NaOX + H_2O$	হ্যালাইড ও হ্যালেট দেয়। $6NaOH + 3X_2 = 5NaX + NaXO_3 + 3H_2O$

1.57. ফ্লুওরিন এবং আয়োডিনের বৈশিষ্ট্য [Characteristics of Florine and Iodine]

● অন্যান্য হ্যালোজেনগুলি থেকে ফ্লুওরিনের অস্বাভাবিক আচরণের কারণ ঃ

পর্যায়-সারণিতে অন্যান্য শ্রেণির প্রথম মৌলের মতো ফ্লুওরিনও VII B (17) গ্রুপের অন্যান্য মৌল থেকে অনেক ধর্মে পৃথক আচরণ করে। এর কারণগুলি হল—**(i) ফ্লুওরিন পরমাণুর আকার ছোটো, (ii) ফ্লুওরিনের ইলেকট্রোনেগেটিভিটি সবচেয়ে বেশি, (iii) ফ্লুওরিন পরমাণুতে *'d'* উপকক্ষের অনুপস্থিতি, (iv) F_2 অণুর মধ্যে F—F বন্ধনের বিয়োজন শক্তি অর্থাৎ বন্ধনটিকে ভাঙতে যে শক্তি ব্যয়িত হয়, তার পরিমাণ খুব কম।**

ফ্লুওরিন পরমাণুর এই বৈশিষ্ট্যগুলির জন্য অন্যান্য হ্যালোজেন থেকে ফ্লুওরিন পৃথক আচরণ করে। যেমন—

(1) জারণ অবস্থা ঃ অন্যান্য হ্যালোজেনগুলির একাধিক জারণ অবস্থা দেখা যায়। ফ্লুওরিনের শুধু (–1) জারণ অবস্থা ছাড়া অন্য জারণ অবস্থা কখনো দেখা যায় না। এর কারণ হল ফ্লুওরিনের ইলেকট্রোনেগেটিভিটি সবচেয়ে বেশি।

(2) ইলেকট্রন আসক্তি ঃ ফ্লুওরিন পরমাণুর আকার খুব ছোটো হওয়ার জন্য ফ্লুওরিন পরমাণুর ইলেকট্রন ঘনত্ব খুব বেশি হয়। তাই দেখা যায় ক্লোরিনের চেয়ে ফ্লুওরিনের ইলেকট্রোনেগেটিভিটি বেশি হওয়া সত্ত্বেও ওর ইলেকট্রন আসক্তি ক্লোরিনের চেয়ে কম।

(4) ছোটো আকার এবং তীব্র ইলেকট্রোনেগেটিভিটির জন্য হাইড্রাইড যৌগে ফ্লুওরিন H-বন্ধন সৃষ্টি করতে পারে। ফলে HF অণুগুলি H বন্ধন দ্বারা পরস্পর সংযোজিত অবস্থায় থাকে। অসংখ্য H বন্ধনগুলিকে ভাঙতে বেশ তাপ শক্তির দরকার হয়। তাই সাধারণ অবস্থায় HF তরল এবং স্ফুটনাঙ্ক 19°C, যখন HCl, HBr, HI গ্যাসীয়।

(5) F_2 অণুর মধ্যস্থ F—F বন্ধনের বিয়োজন শক্তি অনেক কম অর্থাৎ F—F বন্ধনকে ভাঙতে অনেক কম শক্তির প্রয়োজন হয়। তাই F_2 অণু সহজেই বিশ্লিষ্ট হয়ে জায়মান F দেয়। এর ফলে ফ্লুওরিন অত্যন্ত সক্রিয়। ফ্লুওরিনের সক্রিয়তা নীচের বিক্রিয়াগুলি থেকে জানা যায়—

(a) অন্যান্য হ্যালাইড যৌগ থেকে হ্যালোজেনগুলিকে ফ্লুওরিন প্রতিস্থাপিত করে।

$$2KCl + F_2 = 2KF + Cl_2$$

(b) খুব নিম্ন উষ্ণতায় এমনকি অন্ধকারের মধ্যেও ফ্লুওরিন হাইড্রোজেনের সঙ্গে তীব্রভাবে বিক্রিয়া করে HF উৎপন্ন করে।

(c) সাধারণ উষ্ণতায় জলকে আক্রমণ করে O_2 এবং O_3 দেয়।

(d) অন্যান্য হ্যালোজেনগুলি উত্তপ্ত অবস্থাতেও কার্বনের সঙ্গে সোজাসুজি যুক্ত হতে পারে না, ফ্লুওরিন কিন্তু কার্বনের সঙ্গে সোজাসুজি যুক্ত হয়ে যৌগ গঠনে সক্ষম।

(e) ফ্লুওরিন অন্যান্য মৌলের সঙ্গে যুক্ত হয়ে সুস্থিত যৌগ উৎপন্ন করে। NF_3 সুস্থিত যৌগ এবং বিস্ফোরক নয় অথচ NCl_3 অত্যন্ত দুঃস্থিত এবং তীব্র বিস্ফোরক পদার্থ।

(6) অন্যান্য হ্যালোজেনের হাইড্রাসিডগুলির তুলনায় HF মৃদু অ্যাসিড। এর কারণ হল ফ্লুওরিনের ছোটো আকার এবং তীব্র ইলেকট্রোনেগেটিভিটির জন্য HF অণুগুলি পরস্পর সংযোজিত অবস্থায় থাকে তাই দ্রবণে H^+ আয়ন কম দেয়।

(7) ফ্লুওরাইড লবণগুলির আচরণ অন্যান্য হ্যালাইডগুলির আচরণ থেকে পৃথক—যেমন AgF জলে দ্রাব্য কিন্তু AgCl, AgBr বা AgI জলে এবং অ্যাসিডে অদ্রাব্য। আবার CaF_2 জলে অদ্রাব্য অথচ Ca-এর অন্যান্য হ্যালাইডগুলি জলে দ্রাব্য।

(8) অন্যান্য হ্যালাইড়গুলির চেয়ে ফ্লুওরাইড যৌগের আয়নীয় চরিত্র অনেক বেশি। যেমন AlF_3 বা SnF_4 আয়নীয় যৌগ অথচ Al এবং Sn (IV)-এর অন্যান্য হ্যালাইডগুলি সমযোজী।

(9) ফ্লুওরিন কোনো পলি-হ্যালাইড উৎপন্ন করে না, অথচ অন্যান্য হ্যালোজেনগুলি পলি-হ্যালাইড উৎপন্ন করে (যেমন I_3^-, Br_3^-)—এর কারণ হল F পরমাণুতে *'d'* উপকক্ষের অনুপস্থিতি এবং অন্যান্য হ্যালোজেনগুলির পরমাণুতে *'d'* উপকক্ষ উপস্থিত থাকে।

(10) ফ্লুওরাইড আয়ন (F^-) হাইড্রোজেন বন্ধনের মাধ্যমে [F···H—F] অর্থাৎ HF_2 আয়ন গঠন করতে পারে। এই কারণে **KHF_2, $NaHF_2$ যৌগের উপস্থিতি দেখা যায়। অপরদিকে $KHCl_2$ বা $KHBr_2$ বলে কোনো যৌগ এখনো অজানা।**

(11) ফ্লুওরিন কোনো অক্সি-অ্যাসিড উৎপন্ন করে না। এর কারণ হল অক্সিজেনের চেয়ে F_2 বেশি ইলেকট্রোনেগেটিভ। অন্যান্য হ্যালোজেনগুলি O_2-র চেয়ে কম ইলেকট্রোনেগেটিভ হওয়ার জন্য এরা অক্সি-অ্যাসিড উৎপন্ন করতে পারে।

● **আয়োডিনের ধর্মে বিশেষত্ব ঃ** আয়োডিন VII B (17) গ্রুপে অবস্থান করলেও অন্যান্য হ্যালোজেনের থেকে এর ধর্মে কিছু পার্থক্য এবং বিশেষত্ব দেখা যায়। এর কারণগুলি হল আয়োডিন পরমাণুর আকার অন্যান্য হ্যালোজেনগুলির চেয়ে বড়ো, ইলেকট্রোনেগেটিভিটি এবং আয়নীভবন বিভব অন্যান্য হ্যালোজেনের চেয়ে অনেক কম। I_2-র কয়েকটি বৈশিষ্ট্যের উল্লেখ এখানে করা হল—

(i) H_2-এর প্রতি I_2-এর আসক্তি অন্যান্য হ্যালোজেনের তুলনায় অনেক কম। অনুঘটকের উপস্থিতিতে উত্তপ্ত করলে H_2-এর সঙ্গে যুক্ত হয়ে HI উৎপন্ন করে।

(ii) অন্যান্য হ্যালোজেনের মতো আয়োডিন জলের সঙ্গে বিক্রিয়া করে না তবে জলে সামান্য দ্রাব্য।

(iii) হ্যালোজেনগুলির মধ্যে I_2-এর জারণ ক্ষমতা সবচেয়ে কম কিন্তু বিজারণ ক্ষমতা সবচেয়ে বেশি। হ্যালোজেনগুলির মধ্যে কেবল I_2 নাইট্রিক অ্যাসিডকে NO_2-তে বিজারিত করে। $I_2 + 10HNO_3 = 2HIO_3 + 10NO_2 + 4H_2O$.

(iv) অন্যান্য হ্যালোজেনের চেয়ে I_2-এর আকার বড়ো হওয়ার জন্য আয়োডিন অধাতু হলেও কোনো কোনো যৌগে এর ইলেকট্রোপজিটিভ ধর্ম প্রকাশ পায়, যেগুলির মধ্যে আয়োডিন ক্যাটায়নের মতো ব্যবহার করে এবং I^+ বা I^{3+} আয়নরূপে উপস্থিত থাকে। $ICl \rightleftharpoons I^+ + Cl^-$, $ICN \rightleftharpoons I^+ + CN^-$, $ICl_3 \rightleftharpoons I^{3+} + 3Cl^-$.

(v) হ্যালোজেনগুলির মধ্যে একমাত্র I_2 সালফারের সঙ্গে বিক্রিয়া করে না। হ্যালাইড লবণগুলির মধ্যে ফ্লুওরাইড লবণ হল সবচেয়ে স্থায়ী আর সবচেয়ে দুঃস্থিত হল আয়োডাইড লবণ।

(vi) ক্লোরাইড বা ব্রোমাইড লবণের জলীয় দ্রবণ থেকে I_2 ক্লোরিন বা ব্রোমিনকে প্রতিস্থাপিত করতে না পারলেও ওদের অক্সি লবণ থেকে ক্লোরিন ও ব্রোমিনকে প্রতিস্থাপিত করতে পারে। $2KClO_3 + I_2 = 2KIO_3 + Cl_2$.

(vii) অ্যামোনিয়ার সঙ্গে Cl_2 বা Br_2 খুব দুঃস্থিত এবং বিস্ফোরক NCl_3 বা NBr_3 উৎপন্ন করে। কিন্তু I_2-এর সঙ্গে NH_3-এর বিক্রিয়া NI_3-এর পরিবর্তে তীব্র বিস্ফোরক নয় এমন পদার্থ $NI_3—NH_3$ যৌগ উৎপন্ন করে।

● হ্যালোজেন মৌলগুলির রাসায়নিক ধর্মের তুলনা ●

ধর্ম	ফ্লুওরিন	ক্লোরিন	ব্রোমিন	আয়োডিন
(1) H_2-এর সঙ্গে বিক্রিয়া ঃ	অন্ধকারে এমন কী –225°C উষ্ণতাতেও H_2-এর সঙ্গে বিস্ফোরণ সহ যুক্ত হয়ে HF উৎপন্ন করে।	অন্ধকারে বিক্রিয়া হয় না। সূর্যালোকে বিস্ফোরণ সহ H_2-এর সঙ্গে যুক্ত হয়ে HCl উৎপন্ন করে।	তপ্ত প্ল্যাটিনাম তারের উপস্থিতিতে H_2-এর সঙ্গে যুক্ত হয়ে HBr উৎপন্ন করে।	লোহিত তপ্ত প্ল্যাটিনাম তারের উপস্থিতিতে ধীরে ধীরে H_2-এর সঙ্গে যুক্ত হয়ে HI উৎপন্ন করে।
(2) হ্যালাইড উৎপন্নে ধাতুর সঙ্গে ক্রিয়া ঃ	সমস্ত ধাতুকে আক্রমণ করে ফ্লুওরাইড লবণ উৎপন্ন করে।	প্রায় সমস্ত ধাতুকে আক্রমণ করে ক্লোরাইড লবণ উৎপন্ন করে।	সমস্ত ধাতুকে আক্রমণ করে ব্রোমাইড লবণ উৎপন্ন করে।	প্ল্যাটিনাম ছাড়া প্রায় সব ধাতুকে আক্রমণ করে আয়োডাইড লবণ উৎপন্ন করে।

ধর্ম	ফ্লুওরিন	ক্লোরিন	ব্রোমিন	আয়োডিন
(3) হ্যালাইড উৎপন্নে অধাতুর সঙ্গে ক্রিয়া ঃ	N_2 এবং O_2 ছাড়া সব অধাতুর সঙ্গে সরাসরি বিক্রিয়া করে।	C, N_2 এবং O_2 ছাড়া সব অধাতুর সঙ্গে সরাসরি যুক্ত হয়।	C, Si, N_2 এবং O_2 ছাড়া সব অধাতুর সঙ্গে সরাসরি যুক্ত হয়।	H_2, P এবং As-এর সঙ্গে সরাসরি যুক্ত হতে পারে।
(4) জলের সঙ্গে ক্রিয়া ঃ	জলকে বিয়োজিত করে HF, O_2 এবং O_3-তে পরিণত করে।	জলে দ্রবীভূত হয়ে ক্লোরিন জল উৎপন্ন করে। সূর্যালোকে ক্লোরিন জল বিয়োজিত হয়ে HCl এবং O_2-তে পরিণত হয়।	জলে দ্রবীভূত হয়ে ব্রোমিন জল উৎপন্ন করে। সূর্যালোকে ধীরে ধীরে বিয়োজিত হয়ে HBr এবং O_2 উৎপন্ন করে।	জলে খুব সামান্য দ্রাব্য কিন্তু KI-এর জলীয় দ্রবণে দ্রবীভূত হয়ে বাদামি দ্রবণ উৎপন্ন করে।
(5) রাসায়নিক সক্রিয়তা ঃ	অত্যন্ত সক্রিয়। HCl, HBr এবং HI থেকে বা ওদের লবণ থেকে যথাক্রমে Cl_2, Br_2 এবং I_2 মুক্ত করে।	F_2-এর চেয়ে কম সক্রিয়। HBr এবং HI অথবা ওদের লবণ থেকে যথাক্রমে Br_2 এবং I_2 মুক্ত করে।	Cl_2-এর চেয়ে কম সক্রিয়। HI বা এর লবণ থেকে I_2-কে মুক্ত করে।	সবচেয়ে কম সক্রিয় HF, HCl, HBr থেকে বা ওদের লবণ থেকে F_2, Cl_2, Br_2-কে প্রতিস্থাপিত করতে পারে না।
(6) তীব্র ক্ষারের সঙ্গে বিক্রিয়া ঃ	লঘু ও ঠান্ডা NaOH লঘু দ্রবণের সঙ্গে বিক্রিয়ায় F_2O উৎপন্ন করে।	লঘু ও ঠান্ডা NaOH ক্লোরাইড এবং হাইপো-ক্লোরাইট উৎপন্ন হয়।	লঘু ও ঠান্ডা NaOH ব্রোমাইড এবং হাইপো-ব্রোমাইট উৎপন্ন করে।	লঘু ও ঠান্ডা NaOH আয়োডাইড ও হাইপো-আয়োডাইট দেয়।
(7) জারণ ক্ষমতা ঃ	তীব্র জারক পদার্থ, এমন কী Cl_2, O_2-কে জারিত করে।	শক্তিশালী জারক পদার্থ অনেক পদার্থকে জারিত করে।	জারণ করতে পারে।	দুর্বল জারক পদার্থ।
(8) বিরঞ্জন ক্ষমতা ঃ	রঙিন জৈব পদার্থকে আক্রমণ করে HF এবং CF_4-এ পরিণত করে।	জলীয় বাষ্পের উপস্থিতিতে দ্রুত বিরঞ্জন করে।	জলীয় বাষ্পের উপস্থিতিতে ধীরে বিরঞ্জন করে।	বিরঞ্জন ক্ষমতা নেই।
(9) O_2-এর সঙ্গে ক্রিয়া ঃ	পরোক্ষভাবে F_2O এবং F_2O_2 উৎপন্ন করে।	পরোক্ষভাবে Cl_2O, ClO_2, Cl_2O_6 এবং Cl_2O_7 উৎপন্ন করে।	O_3 দ্বারা জারিত হয়ে BrO_3-তে পরিণত হয়। পরোক্ষভাবে BrO_2 এবং Br_2O-তে পরিণত হয়।	HNO_3 এবং O_3 দ্বারা জারিত হয়ে I_2O_4, I_2O_5 এবং I_2O_7-এ পরিণত হয়।
(11) জারণ অবস্থা ঃ	সব যৌগে (–1)।	HCl-এ (–1) ঃ HOCl, $HClO_2$, $HClO_3$, $HClO_4$-এ যথাক্রমে +1, +3, +5, +7.	HBr-এ (–1) ঃ HOBr, $HBrO_2$, $HBrO_3$-এ যথাক্রমে +1, +3 এবং +5.	HI-এ (–1) ঃ HOI, HIO_2, HIO_3 এবং HIO_4 যথাক্রমে +1, +3, +5 এবং +7.

• হাইড্রোজেন ফ্লুওরাইড (হাইড্রোফ্লুওরিক অ্যাসিড) •

1.58. হাইড্রোজেন ফ্লুওরাইড প্রস্তুতি [Preparation of hydrogen fluoride]

হাইড্রোজেন এবং ফ্লুওরিন বিস্ফোরণসহ সোজাসুজি যুক্ত হয়ে হাইড্রোজেন ফ্লুওরাইড উৎপন্ন করে। বিক্রিয়াটি অত্যন্ত দ্রুতগতিতে সম্পন্ন হওয়ার জন্য বিস্ফোরণ ঘটে। সেইজন্য H_2-এর সঙ্গে F_2-এর সরাসরি বিক্রিয়ার দ্বারা HF উৎপন্ন করা হয় না। হাইড্রোফ্লুওরিক অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণ নীচের পদ্ধতি দ্বারা প্রস্তুত করা হয়।

(1) ফ্লুওস্পার থেকে হাইড্রোজেন ফ্লুওরাইড প্রস্তুতি ঃ

নীতি ঃ ফ্লুওস্পার (CaF_2) চূর্ণের সঙ্গে গাঢ় H_2SO_4 (90%) মিশিয়ে সাবধানে 300ºC উষ্ণতার নীচে উত্তপ্ত করলে **হাইড্রোজেন ফ্লুওরাইড** পাতিত হয়। $CaF_2 + H_2SO_4 = CaSO_4 + 2HF \uparrow$

পদ্ধতি ঃ লেডের তৈরি একটি রেটর্টের মধ্যে ফ্লুওস্পার চূর্ণ নিয়ে ওর সঙ্গে গাঢ় H_2SO_4 যোগ করা হয়। মিশ্রণটিকে 300ºC-এর কম উষ্ণতায় (কারণ লেডের গলনাঙ্ক = 327ºC) বালিগাহের উপর রেটর্টটিকে রেখে উত্তপ্ত করা হয়। বিক্রিয়ার ফলে উৎপন্ন হাইড্রোজেন ফ্লুওরাইড গ্যাস নির্গত হয়। এই বাষ্পকে লেডের তৈরি একটি জলপূর্ণ পাত্রের মধ্যে শোষিত করা হয়। HF বাষ্প জলে দ্রবীভূত হয়ে হাইড্রোফ্লুওরিক অ্যাসিডে পরিণত হয়। এইভাবে প্রাপ্ত হাইড্রোফ্লুওরিক অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণে প্রায় 40% HF থাকে। উৎপন্ন অ্যাসিডকে **মোমের প্রলেপ দেওয়া পাত্র বা পলিথিন বোতলের মধ্যে রাখা হয়।**

● **হাইড্রোফ্লুওরিক অ্যাসিড কাচের রেটর্টে প্রস্তুত করা হয় না বা কাচের পাত্রের মধ্যে রাখা যায় না কেন?** যেহেতু HF-এর সঙ্গে কাচের বিক্রিয়ায় (SiO_2) সিলিকন টেট্রা ফ্লুওরাইড উৎপন্ন হয় ফলে কাচ ক্ষয়প্রাপ্ত হয়, **সেইজন্য কাচের পাত্রে HF প্রস্তুত করা হয় না বা কাচের বোতলের মধ্যে HF রাখা যায় না।** কাচের বোতলের ভেতরের গায়ে মোমের প্রলেপ দিয়ে কিংবা পলিথিন পাত্রে HF রাখা হয়।

(2) অনার্দ্র হাইড্রোজেন ফ্লুওরাইড প্রস্তুতি ঃ

নীতি ঃ অনার্দ্র পটাশিয়াম হাইড্রোজেন ফ্লুওরাইডকে উত্তপ্ত করে অনার্দ্র হাইড্রোফ্লুওরিক অ্যাসিড প্রস্তুত করা হয়।

$$KHF_2 \xrightarrow[\text{তাপ}]{} KF + HF\uparrow$$

পদ্ধতি ঃ প্ল্যাটিনাম বা কপারের তৈরি রেটর্টের মধ্যে **ফ্রেমির লবণ** (Fremy's salt), অর্থাৎ **পটাশিয়াম হাইড্রোজেন ফ্লুওরাইড** রেখে উত্তপ্ত করলে HF উৎপন্ন হয়। রেটর্টের মুখটি প্ল্যাটিনাম বা কপারের তৈরি একটি গ্রাহক পাত্রের মধ্যে প্রবেশ করানো থাকে। গ্রাহক পাত্রটিকে বরফ এবং NaCl-এর মিশ্রণ দিয়ে তৈরি হিমমিশ্রের মধ্যে রাখা থাকে। তাপ প্রয়োগের ফলে KHF_2 বিয়োজিত হয়ে হাইড্রোজেন ফ্লুওরাইড গ্যাস উৎপন্ন করে। এই গ্যাস গ্রাহক পাত্রে শীতল ও ঘনীভূত হয়ে বর্ণহীন তরল হাইড্রোফ্লুওরিক অ্যাসিডরূপে জমা হয়।

● **বিশুদ্ধিকরণ ঃ** এইভাবে উৎপন্ন হাইড্রোফ্লুওরিক অ্যাসিডের মধ্যে অতি সামান্য **জলীয় বাষ্প** থেকে যেতে পারে। এই জলীয় বাষ্পকে মুক্ত করতে হলে, এই অ্যাসিডের প্ল্যাটিনাম তড়িদ্দ্বারের সাহায্যে তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করা হয়। তড়িদ্‌বিশ্লেষণে সমস্ত জল বেরিয়ে গেলে পর দেখা যাবে তরলটি আর তড়িৎ পরিবহন করে না। তখনই বুঝতে হবে যে HF সম্পূর্ণ জল মুক্ত হয়েছে। এইভাবে সম্পূর্ণ অনার্দ্র হাইড্রোফ্লুওরিক অ্যাসিড পাওয়া যায়।

1.59. হাইড্রোফ্লুওরিক অ্যাসিডের ধর্ম [Properties of HF]

(A) ভৌত ধর্ম ঃ

(i) হাইড্রোফ্লুওরিক অ্যাসিড বর্ণহীন ধূমায়িত তরল, মাত্র 19·9ºC উষ্ণতায় ফুটতে থাকে। **(ii)** এই অ্যাসিড অত্যন্ত বিষাক্ত, দেহের সংস্পর্শে এলে ভয়ঙ্কর ক্ষতের সৃষ্টি করে। **(iii)** এর বাষ্পও তীব্র ক্ষত সৃষ্টিকারী এবং বিষাক্ত। **(iv)** অনার্দ্র হাইড্রোজেন ফ্লুওরাইড তড়িতের অপরিবাহী। **(v)** জলে অত্যন্ত দ্রাব্য।

[হাতে এই অ্যাসিড পড়লে সঙ্গে সঙ্গে ম্যাগনেশিয়াম হাইড্রক্সাইড দিলে ক্ষত হতে পারে না। এর বাষ্প প্রশ্বাসের সঙ্গে গেলে চিরজীবনের জন্য গলার স্বর নষ্ট হয়ে যায়। এই অ্যাসিড নিয়ে কাজ করার সময় রবারের গ্লাভস পরে কাজ করতে হয়।]

(B) রাসায়নিক ধর্ম ঃ

(1) ধাতুর সঙ্গে বিক্রিয়া ঃ হাইড্রোফ্লুওরিক অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণ প্রায় সব ধাতুর সঙ্গে বিক্রিয়া করে **ফ্লুওরাইড লবণ** উৎপন্ন করে এবং হাইড্রোজেন নির্গত হয়। লেডের সঙ্গে HF-এর সামান্য বিক্রিয়া হয়। Au, Pt প্রভৃতি ধাতুগুলি HF দ্বারা আক্রান্ত হয় না।

$$2Na + 2HF = 2NaF + H_2\uparrow; \qquad 2Ag + 2HF = 2AgF + H_2\uparrow$$
$$2Al + 6HF = 2AlF_3 + 3H_2\uparrow; \qquad Ca + 2HF = CaF_2 + H_2\uparrow$$

(2) অক্সাইডের সঙ্গে বিক্রিয়া ঃ হাইড্রোফ্লুওরিক অ্যাসিডের গাঢ় জলীয় দ্রবণ অক্সাইডের সঙ্গে বিক্রিয়া করে ফ্লুওরাইড যৌগ উৎপন্ন করে। $B_2O_3 + 6HF = 2BF_3 + 3H_2O$; $Al_2O_3 + 6HF = 2AlF_3 + 3H_2O$

(3) অ্যাসিড ধর্ম ঃ HF একটি সমযোজী যৌগ তাই অনার্দ্র HF আয়নিত হয় না, তাই তড়িৎ পরিবহণ করে না। HF জলে সম্পূর্ণ মিশে যায় এবং জলীয় দ্রবণ তড়িৎ পরিবহণ করে। জলের মধ্যে HF নীচের মতো আয়নিত হয়।

$$HF \rightleftharpoons H^+ + F^- \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (i)$$

এর পর F^- আয়ন অপর একটি HF অণুর সঙ্গো হাইড্রোজেন বন্ধন দ্বারা যুক্ত হয়।

$$F^- + HF \rightleftharpoons (HF_2)^- \quad \ldots \quad \ldots \quad (ii)$$

● **হাইড্রোফ্লুওরিক অ্যাসিড দ্বিক্ষারিক অ্যাসিডের মতো ব্যবহার করে (H_2F_2)**। গাঢ় জলীয় দ্রবণে হাইড্রোফ্লুওরিক অ্যাসিড, H-বন্ধনের প্রভাবে H_2F_2 রূপে অবস্থান করে যার কিছু অংশ নীচের মতো আয়নিত হয়—

$$H_2F_2 \rightleftharpoons H^+ + [FHF]^-$$

তাই দেখা যায় ক্ষারের সঙ্গো বিক্রিয়া করে HF দুই রকম ফ্লুওরাইড লবণ উৎপন্ন করে —**(i) নর্ম্যাল লবণ** এবং **(ii) অ্যাসিড লবণ** উৎপন্ন করে।

$$NaOH + H_2F_2 = \underset{\text{সোডিয়াম হাইড্রোজেন ফ্লুওরাইড (অ্যাসিড লবণ)}}{NaHF_2} + H_2O \quad ; \quad NaHF_2 + NaOH = \underset{\text{সোডিয়াম ফ্লুওরাইড (নর্ম্যাল লবণ)}}{2NaF} + H_2O$$

HF কার্বনেটের সঙ্গো বিক্রিয়া করে ফ্লুওরাইড লবণ ও CO_2 উৎপন্ন করে।

$$Na_2CO_3 + 2HF = 2NaF + CO_2\uparrow + H_2O$$

(4) সিলিকা এবং কাচের উপর ক্রিয়া ঃ

(i) সিলিকার সঙ্গো HF-এর বিক্রিয়াটি গুরুত্বপূর্ণ। SiO_2-এর সঙ্গো HF-এর বিক্রিয়ায় প্রথমে তীব্র ঝাঁঝালো গন্ধবিশিষ্ট বর্ণহীন গ্যাস **সিলিকন টেট্রাফ্লুওরাইড** (SiF_4) উৎপন্ন হয়। উৎপন্ন SiF_4 আরো HF-এর সঙ্গো বিক্রিয়া করে **হাইড্রোফ্লুওসিলিসিক অ্যাসিড** (H_2SiF_6) উৎপন্ন করে।

$$SiO_2 + 4HF = SiF_4 + 2H_2O \qquad SiF_4 + 2HF = H_2SiF_6$$

(ii) কাচের উপর ক্রিয়া ঃ কাচের উপাদান হল **সিলিকা** (SiO_2), **সোডিয়াম সিলিকেট** (Na_2SiO_3) **এবং ক্যালশিয়াম সিলিকেট** ($CaSiO_3$)। কাচের সঙ্গো HF-এর গাঢ় দ্রবণের বিক্রিয়ায় HF, কাচের এই উপাদানগুলির সঙ্গো বিক্রিয়া করে SiF_4 এবং H_2SiF_6 এবং এর লবণ উৎপন্ন করে। এইভাবে HF-কে কাচপাত্রে রাখলে পাত্রের ক্ষয় হয়। **অনার্দ্র HF কিন্তু কাচকে আক্রমণ করে না।**

SiO_2-এর সঙ্গো ঃ

$$SiO_2 + 4HF = SiF_4 + 2H_2O$$
$$SiF_4 + 2HF = H_2SiF_6$$

Na_2SiO_3-এর সঙ্গো ঃ

$$Na_2SiO_3 + 2HF = 2NaF + SiO_2 + H_2O$$
$$SiO_2 + 4HF = SiF_4 + 2H_2O$$
$$2NaF + SiF_4 = Na_2SiF_6$$

শিল্প ক্ষেত্রে কাচে দাগ কাটার জন্য (40—60%) হাইড্রোফ্লুওরিক অ্যাসিড ব্যবহার করা হয়।

[কাচের পাত্রে ফ্লুওরিন প্রস্তুত করা যায় না—কারণ F_2 প্রস্তুতে HF-কে তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থরূপে ব্যবহার করতে হয়। HF কাচকে আক্রমণ করে। অনার্দ্র HF কাচকে আক্রমণ না করলেও, অনার্দ্র HF আয়নিত হয় না তাই তড়িদ্‌বিশ্লেষণ হয় না।]

(5) অধাতব ফ্লুওরাইডের সঙ্গো ঃ বিভিন্ন অধাতব ফ্লুওরাইড যৌগের সঙ্গো HF যুত যৌগ উৎপন্ন করে।

$$HF + BF_3 = \underset{\text{ফ্লুওবোরিক অ্যাসিড}}{HBF_4} \quad ; \quad 2HF + SiF_4 = \underset{\text{হাইড্রোফ্লুওসিলিসিক অ্যাসিড}}{H_2SiF_6}$$

(6) বোরিক অ্যাসিডের সঙ্গো HF উৎপন্ন করে ফ্লুওবোরিক অ্যাসিড।

$$H_3BO_3 + 4HF = HBF_4 + 3H_2O$$

● **অন্যান্য হ্যালোজেন অ্যাসিডের চেয়ে HF স্থায়ী এবং HF-এর গলনাঙ্ক এবং স্ফুটনাঙ্ক অন্যান্য হ্যালোজেন অ্যাসিডের চেয়ে বেশি,** এর কারণ হল—

ফ্লুওরিন তীব্র ইলেকট্রোনেগেটিভ মৌল এবং F পরমাণুর আকারও ছোটো। তাই তরল HF-এর মধ্যে HF অণুগুলি H বন্ধন দ্বারা যুক্ত হয়ে পরস্পরের সঙ্গো সংযোজিত অবস্থায় থাকে। এই H-বন্ধনগুলিকে ছিন্ন করতে বেশি তাপশক্তির প্রয়োজন হয়। তাই দেখা যায় অন্যান্য হ্যালোজেনের অ্যাসিডের তুলনায় **HF বেশি স্থায়ী—এর গলনাঙ্ক, স্ফুটনাঙ্ক HCl, HBr, HI-এর চেয়ে বেশি**। ফ্লুওরিনের ইলেকট্রোনেগেটিভিটি সবচেয়ে বেশি তাই H—F বন্ধনের আয়নীয় প্রকৃতি সবচেয়ে বেশি। এজন্য অন্যান্য হ্যালোজেন অ্যাসিডের চেয়ে HF অত্যন্ত স্থায়ী যৌগ।

● **হাইড্রোফ্লুওরিক অ্যাসিডের শনাক্তকরণ ঃ**

হাইড্রোফ্লুওরিক অ্যাসিডের দ্রবণ কাচের টেস্টটিউবের মধ্যে নিলে, কাচের সঙ্গো HF-এর বিক্রিয়ায় খুব উদ্‌বায়ী SiF_4 উৎপন্ন হয়। SiF_4 গ্যাসীয় অবস্থায় টেস্টটিউবের বাইরে আসে। একটি গ্লাস রডের মুখে আটকানো জলের ফোঁটাকে টেস্টটিউবটির মুখে ধরলে,

নির্গত SiF_4 জলের সঙ্গে বিক্রিয়ায় সাদা কঠিন **অর্থোসিলিসিক অ্যাসিড** H_4SiO_4 উৎপন্ন করে, যার ফলে স্বচ্ছ জলের ফোঁটাটি অস্বচ্ছ হয়ে যায়।

$$SiO_2 + 4HF = SiF_4 + 2H_2O \quad ; \quad 3SiF_4 + 4H_2O = 2H_2SiF_6 + H_4SiO_4 \downarrow$$

● **HF-এর জলীয় দ্রবণে $AgNO_3$ দ্রবণ যোগ করলে AgF-এর অধঃক্ষেপ পড়ে না।**

HF-এর সঙ্গে $AgNO_3$ দ্রবণ যোগ করলে অধঃক্ষেপ পড়ে না কারণ উৎপন্ন AgF জলে দ্রাব্য (অন্যান্য সিলভার হ্যালাইডগুলি যেমন AgCl, AgBr, AgI জলে অদ্রাব্য)। $HF + AgNO_3 = AgF + HNO_3$

HF-এর সঙ্গে $BaCl_2$ দ্রবণ যোগ করলে BaF_2-এর সাদা অধঃক্ষেপ পড়ে যা HNO_3-তে অদ্রাব্য কিন্তু গাঢ় HCl-এ দ্রাব্য। (HCl, HBr, HI সঙ্গে $BaCl_2$ দ্রবণ যোগ করলে অধঃক্ষেপ পড়ে না)।

$$BaCl_2 + 2HF = BaF_2 \downarrow + 2HCl$$

1.60. হাইড্রোফ্লুওরিক অ্যাসিডের ব্যবহার [Uses of HF]

(1) কাচের উপর দাগ কাটার জন্য ব্যবহৃত হয়। এই প্রক্রিয়ায় বিভিন্ন কাচের যন্ত্র যেমন থার্মোমিটার, মেজারিং ফ্লাস্ক, ব্যুরেট, পিপেট প্রভৃতির গায়ে দাগ কাটা হয়। তাছাড়া আলমারির কাচ, আয়নার কাচ প্রভৃতির উপর নক্সা কাটা হয়। **(2)** কোহল শিল্পে বীজাণুনাশক রূপে HF ব্যবহৃত হয়। **(3)** কাঠের সংরক্ষণে NaF এবং ZnF_2 ব্যবহৃত হয়। **(4)** ধাতুবিদ্যায় অ্যালুমিনিয়াম ধাতু নিষ্কাশনে ব্যবহৃত কৃত্রিম ক্রায়োলাইট (AlF_3, NaF) প্রস্তুতে এবং গ্রাফাইট ও ঢালাই লোহা থেকে বালি দূর করার কাজে HF ব্যবহৃত হয়। **(5)** সিলিকেট খনিজের বিশ্লেষণে এবং জৈব রসায়নে অনুঘটক রূপে HF-এর ব্যবহার আছে। **(6)** টেফ্রন, প্লাস্টিক প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত হয়। **(7)** রকেটে জারক পদার্থরূপে ব্যবহৃত হয়।

● হাইড্রোজেন ক্লোরাইড (হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড) ●

বিজ্ঞানী **প্রিস্টলি** 1772 খ্রিস্টাব্দে সমুদ্রের লবণ থেকে হাইড্রোজেন ক্লোরাইড তৈরি করেন। তিনি এই অ্যাসিডের নাম দেন **মিউরিয়েটিক অ্যাসিড** (Muriatic acid) অর্থাৎ সামুদ্রিক অ্যাসিড।

1.61. হাইড্রোজেন ক্লোরাইড প্রস্তুতি [Preparation of hydrogen chloride]

(1) পরীক্ষাগার প্রস্তুতি ঃ

নীতি ঃ সোডিয়াম ক্লোরাইড ও গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের মিশ্রণকে উত্তপ্ত করে পরীক্ষাগারে হাইড্রোজেন ক্লোরাইড তৈরি করা হয়। বিক্রিয়াটি দুটি ধাপে সম্পন্ন হয়।

(a) 150°—200°C উষ্ণতায় সোডিয়াম বাই-সালফেট ও হাইড্রোজেন ক্লোরাইড উৎপন্ন হয়।

$$NaCl + H_2SO_4 = NaHSO_4 + HCl \uparrow$$

(b) 500°C উষ্ণতায় উৎপন্ন সোডিয়াম বাই-সালফেট অবশিষ্ট সোডিয়াম ক্লোরাইডের সঙ্গে বিক্রিয়া করে **সোডিয়াম সালফেট ও হাইড্রোজেন ক্লোরাইড** উৎপন্ন করে।

$$NaCl + NaHSO_4 = Na_2SO_4 + HCl \uparrow$$

পদ্ধতি ঃ একটি গোলতল ফ্লাস্কের মধ্যে কিছু সোডিয়াম ক্লোরাইড নিয়ে কর্কের মধ্য দিয়ে ফ্লাস্কটির মুখে একটি দীর্ঘনল ফানেল ও একটি নির্গম নল লাগিয়ে নির্গম নলের শেষ প্রান্তটিকে একটি শুষ্ক গ্যাসজারের নীচ পর্যন্ত প্রবেশ করানো হয়। ফ্লাস্কটিকে স্ট্যান্ডের সঙ্গে আটকে তারজালির উপর বসিয়ে দীর্ঘনল ফানেলের মধ্য দিয়ে গাঢ় H_2SO_4 ফ্লাস্কের মধ্যে ঢালা হয়। লক্ষ্য রাখা হয় যেন দীর্ঘনল ফানেলের শেষ প্রান্তটি অ্যাসিডে ডুবে থাকে। বার্নার দিয়ে ফ্লাস্কটিকে উত্তপ্ত করার সঙ্গে সঙ্গে HCl গ্যাস বের হতে আরম্ভ করে যা, বাতাসের ঊর্ধ্ব অপসারণ দ্বারা গ্যাসজারে জমা হয়। একটি কাচদণ্ড অ্যামোনিয়াম হাইড্রক্সাইডে ডুবিয়ে গ্যাসজারের মুখে ধরলে যদি সাদা ধোঁয়া উৎপন্ন হয়, তবে বোঝা যায় যে, গ্যাসজারটি HCl গ্যাস দ্বারা পূর্ণ হয়েছে।

এইভাবে উৎপন্ন HCl গ্যাসকে কখনো P_2O_5 অথবা CaO (চুন) দ্বারা শুষ্ক করা সম্ভব নয়। কারণ P_2O_5-এর সঙ্গে HCl বিক্রিয়া করে—$2P_2O_5 + 3HCl = POCl_3 + 3HPO_3$.

HCl আম্লিক এবং CaO ক্ষারকীয় বলে উভয়ের মধ্যে বিক্রিয়া ঘটে। $CaO + 2HCl = CaCl_2 + H_2O$

● **হাইড্রোজেন ক্লোরাইডের পরীক্ষাগার প্রস্তুতিতে গাঢ় HNO_3 ব্যবহার না করে গাঢ় H_2SO_4 ব্যবহার করা হয়, এর কারণ হল** এই যে HNO_3-এর স্ফুটনাঙ্ক 86°C, তাই বেশ উদ্‌বায়ী। ক্লোরাইড লবণের সঙ্গে গাঢ় HNO_3 মিশিয়ে উত্তপ্ত করলে উৎপন্ন HCl-এর

সঙ্গে উদ্‌বায়ী HNO_3-এর কিছু অংশ পাতিত হয়ে গ্রাহক পাত্রে জমা হবে। এর ফলে উৎপন্ন গাঢ় HCl, গাঢ় HNO_3 দ্বারা জারিত হয়ে Cl_2-তে পরিণত হবে। $3HCl + HNO_3 = NOCl + Cl_2 + 2H_2O$. অপরদিকে গাঢ় H_2SO_4-এর স্ফুটনাঙ্ক 338°C এবং HCl খুবই উদ্‌বায়ী। তাই ক্লোরাইড লবণের সঙ্গে গাঢ় H_2SO_4 মিশিয়ে উত্তপ্ত করলে গাঢ় H_2SO_4 পাতিত না হয়ে উৎপন্ন HCl পাতিত হয়ে গ্রাহক পাত্রে জমা হয়।

(2) হাইড্রোজেন ক্লোরাইড ও হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড প্রস্তুতির অন্যান্য প্রস্তুতি ঃ

(i) সিলিকন টেট্রা-ক্লোরাইডের আর্দ্র-বিশ্লেষণে বিশুদ্ধ HCl পাওয়া যায়।

$$SiCl_4 + 4H_2O = 4HCl + Si(OH)_4$$

(ii) আলোর উপস্থিতিতে H_2 এবং Cl_2 পরস্পর যুক্ত হয়ে অনার্দ্র HCl উৎপন্ন করে। $H_2 + Cl_2 = 2HCl$

(iii) অনেক ধাতব এবং অধাতব ক্লোরাইডের আর্দ্র-বিশ্লেষণে HCl উৎপন্ন হয়।

$$FeCl_3 + 3H_2O = 3HCl + Fe(OH)_3 \; ; \quad PCl_3 + 3H_2O = 3HCl + H_3PO_3$$

$$SO_2Cl_2 + 2H_2O = 2HCl + H_2SO_4 \; ; \quad BCl_3 + 3H_2O = 3HCl + H_3BO_3$$

● **HCl-এর শিল্প প্রস্তুতি ঃ (i)** আজকাল সংশ্লেষণ পদ্ধতি দ্বারা বেশির ভাগ HCl উৎপন্ন করা হয়। সমান আয়তনের H_2 এবং Cl_2 গ্যাসের মিশ্রণকে (H_2 একটু বেশি রাখা হয়) একটি নলের মধ্য দিয়ে সিলিকার তৈরি একটি কক্ষে চালনা করে দহন করা হয়। এর ফলে H_2 এবং Cl_2 পরস্পর যুক্ত হয়ে হাইড্রোজেন ক্লোরাইড উৎপন্ন হয়। উৎপন্ন HCl গ্যাসকে হিমকক্ষের মধ্য দিয়ে চালনা করে ঠান্ডা করার পর জলের ধারায় দ্রবীভূত করে হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।

$$H_2 + Cl_2 = 2HCl \uparrow$$

(ii) লা-ব্লাঙ্ক পদ্ধতি ঃ সাধারণ লবণের সঙ্গে গাঢ় H_2SO_4 যোগ করে 600°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত করে HCl উৎপন্ন করা হয়।

$$2NaCl + H_2SO_4 \xrightarrow{600^\circ C} Na_2SO_4 + 2HCl \uparrow$$

1.62. হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের ধর্ম [Properties of HCl]

(A) ভৌতধর্ম ঃ (i) হাইড্রোজেন ক্লোরাইড বর্ণহীন শ্বাসরোধকারী ঝাঁঝালো গন্ধযুক্ত গ্যাস। **(ii)** বাতাসের চেয়ে ভারী, বাষ্প-ঘনত্ব 18·25 **(iii) হাইড্রোজেন ক্লোরাইড জলে অত্যন্ত দ্রাব্য** (0°C উষ্ণতায় ও প্রমাণ চাপে 1 ml জলে প্রায় 450 ml HCl গ্যাস দ্রবীভূত হয়)। **(iv)** হাইড্রোজেন ক্লোরাইড আর্দ্র বাতাসের মধ্যে সাদা ধোঁয়া উৎপন্ন করে।

(B) রাসায়নিক ধর্ম ঃ (1) হাইড্রোজেন ক্লোরাইড দাহ্য নয় বা দহনে সাহায্যে করে না। HCl গ্যাসের মধ্যে জ্বলন্ত Na ধাতু প্রবেশ করালে সোনালী হলুদ শিখা সহ জ্বলতে থাকে এবং NaCl উৎপন্ন করে।

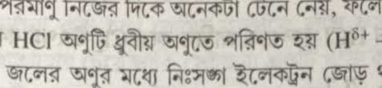
$$2Na + 2HCl = 2NaCl + H_2 \uparrow$$

(2) অ্যাসিড ধর্ম ঃ হাইড্রোজেন ক্লোরাইড জলে দ্রবীভূত হলে জলীয় দ্রবণে অ্যাসিডের ধর্ম প্রকাশ পায়। জলীয় দ্রবণে HCl-এর বেশির ভাগ অণু H^+ ও Cl^- আয়নে বিভক্ত হয়ে যায়, এরই জন্য HCl **একটি তীব্র একক্ষারী অ্যাসিড।**

● **হাইড্রোজেন ক্লোরাইড সমযোজী পদার্থ কিন্তু ওর জলীয় দ্রবণ তড়িৎ পরিবহণ করে কেন?**

এর কারণ, যেহেতু Cl পরমাণু তীব্র ইলেকট্রোনেগেটিভ তাই হাইড্রোজেনের সঙ্গে সমযোজী বন্ধনে ব্যবহৃত ইলেকট্রন জোড়কে Cl পরমাণু নিজের দিকে অনেকটা টেনে নেয়, ফলে HCl অণুর H প্রান্তটি আংশিক পজিটিভ এবং Cl প্রান্তটি আংশিক নেগেটিভ তড়িৎগ্রস্ত হয়ে HCl অণুটি ধ্রুবীয় অণুতে পরিণত হয় ($H^{\delta+} \longrightarrow Cl^{\delta-}$)।

জলের অণুর মধ্যে নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন জোড় থাকে। এখন এই ধ্রুবীয় HCl-কে জলে দিলে HCl থেকে H^+ প্রোটনটি ওই নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন জোড়ের সঙ্গে যুক্ত হয়ে H_3O^+ আয়ন উৎপন্ন করে। এইভাবে HCl-কে জলে দ্রবীভূত করলে হাইড্রক্সোনিয়াম আয়ন H_3O^+ এবং Cl^- আয়নে বিয়োজিত হয়, তাই তড়িৎ পরিবহণ করতে পারে।


$+ Cl^-$ অর্থাৎ $HCl \rightleftharpoons H^+ + Cl^-$ অর্থাৎ $HCl + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + Cl^-$

হাইড্রক্সোনিয়াম আয়ন

হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণ নীল লিটমাসকে লাল করে। **ক্ষার বা ক্ষারকের সঙ্গে বিক্রিয়া করে** লবণ ও জল উৎপন্ন করে।

$$KOH + HCl = KCl + H_2O$$

কার্বনেট এবং সালফাইট লবণের সঙ্গে HCl দ্রবণের বিক্রিয়ায় যথাক্রমে কার্বন ডাইঅক্সাইড এবং সালফার ডাইঅক্সাইড গ্যাস উৎপন্ন হয় এবং উভয় ক্ষেত্রেই ক্লোরাইড লবণ উৎপন্ন হয়।

$$Na_2SO_3 + 2HCl = 2NaCl + SO_2\uparrow + H_2O$$
$$CaCO_3 + 2HCl = CaCl_2 + CO_2\uparrow + H_2O$$

নাইট্রাইট লবণের সঙ্গে বিক্রিয়ায় নাইট্রাস অ্যাসিড উৎপন্ন হয় যা বিয়োজিত হয়ে **বর্ণহীন নাইট্রিক অক্সাইড** উৎপন্ন করে। এই NO বায়ুর সংস্পর্শে এলে বাদামি বর্ণের **নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইড** উৎপন্ন করে।

$$3NaNO_2 + 3HCl = 3NaCl + 3HNO_2 \;;\; 3HNO_2 = HNO_3 + 2NO + H_2O$$
$$2NO + O_2 = 2NO_2$$

(3) ধাতুর উপর ক্রিয়া ঃ তড়িৎ-রাসায়নিক শ্রেণিতে **হাইড্রোজেনের উপরে অবস্থিত ধাতুগুলি**—যেমন Na, Ca, Zn, Mg, Fe, Al প্রভৃতি হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়া করে **ক্লোরাইড লবণ** উৎপন্ন করে ও **হাইড্রোজেন প্রতিস্থাপিত হয়।**

$$Fe + 2HCl = FeCl_2 + H_2\uparrow \;;\; Zn + 2HCl = ZnCl_2 + H_2\uparrow$$
$$2Al + 6HCl = 2AlCl_3 + 3H_2$$

গোল্ড, প্ল্যাটিনাম প্রভৃতি নোবল মেটালগুলির সঙ্গে HCl-এর কোনো বিক্রিয়া হয় না। গাঢ় ও উত্তপ্ত HCl দ্বারা Cu আক্রান্ত হয়। বাতাসের উপস্থিতিতে সিলভার এই অ্যাসিডের সঙ্গে ধীরে ধীরে বিক্রিয়া করে।

$$4Ag + 4HCl + O_2 = 4AgCl + 2H_2O \;;\; 2Cu + 4HCl + O_2 = 2CuCl_2 + 2H_2O$$

(4) ধাতুর অক্সাইডের সঙ্গে ক্রিয়া ঃ ধাতব অক্সাইড ও হাইড্রক্সাইডের সঙ্গে ক্লোরাইড লবণ উৎপন্ন করে।

$$CuO + 2HCl = CuCl_2 + H_2O \;;\; Fe_2O_3 + 6HCl = 2FeCl_3 + 3H_2O$$

(5) জারক পদার্থের উপর ক্রিয়া ঃ MnO_2, $KMnO_4$, $K_2Cr_2O_7$, Pb_3O_4, PbO_2 প্রভৃতি জারক পদার্থ HCl-কে জারিত করে **ক্লোরিন** উৎপন্ন করে এবং ধাতব **ক্লোরাইড** উৎপন্ন হয়। এই **বিক্রিয়াগুলিতে HCl জারক পদার্থগুলিকে বিজারিত করে।** এগুলি হল HClএর বিজারণ ধর্মের উদাহরণ।

(i) MnO_2, গাঢ় HCl-কে জারিত করে সবুজাভ হলুদ বর্ণের ক্লোরিন উৎপন্ন করে এবং MNO_2, HCl দ্বারা বিজারিত হয়ে ম্যাঙ্গানাস ক্লোরাইডে পরিণত হয়।

$$4H\overset{-1}{Cl} + \overset{+4}{Mn}O_2 = \overset{+2}{Mn}Cl_2 + \overset{0}{Cl_2} + 2H_2O$$

(ii) পটাশিয়াম পারম্যাঙ্গানেট, গাঢ় HCl-কে জারিত করে সবুজাভ হলুদ বর্ণের Cl_2 মুক্ত করে এবং নিজে HCl দ্বারা বিজারিত করে বর্ণহীন **ম্যাঙ্গানাস ক্লোরাইডে** পরিণত হয়।

$$2K\overset{+7}{Mn}O_4 + 16H\overset{-1}{Cl} = 2KCl + 2\overset{+2}{Mn}Cl_2 + 5\overset{0}{Cl_2} + 8H_2O$$

(বিজারণ)

(iii কমলা বর্ণের **পটাশিয়াম ডাইক্রোমেট** গাঢ় HCl-কে জারিত করে সবুজাভ হলুদ বর্ণের **ক্লোরিন** উৎপন্ন করে এবং নিজে বিজারিত হয়ে সবুজ বর্ণের **ক্রোমিক ক্লোরাইডে** পরিণত হয়।

$$K_2\overset{+6}{Cr_2}O_7 + 14H\overset{-1}{Cl} = 2KCl + 2\overset{+3}{Cr}Cl_3 + 3\overset{0}{Cl_2} + 7H_2O$$

(বিজারণ)

(iv)
$$\underset{\text{রেডলেড}}{Pb_3O_4} + 8HCl = 3PbCl_2 + Cl_2 + 4H_2O$$

(v) উত্তপ্ত কিউপ্রিক ক্লোরাইড অনুঘটকের উপস্থিতিতে বাতাসের অক্সিজেন HCl বাষ্পকে জারিত করে Cl_2 উৎপন্ন করে।

$$4HCl + O_2 \xrightarrow{CuCl_2} 2H_2O + 2Cl_2$$

(6) অ্যামোনিয়ার সঙ্গে বিক্রিয়া ঃ অ্যামোনিয়ার সঙ্গে HCl যুক্ত হয়ে NH_4Cl-এর সাদা ধোঁয়া উৎপন্ন করে।

$$NH_3 + HCl = NH_4Cl$$

(7) ধাতব লবণের সঙ্গে ঃ লেড, সিলভার, মারকিউরাস লবণের জলীয় দ্রবণে HCl মেশালে ওই সব ধাতুর **ক্লোরাইডের সাদা অধঃক্ষেপ পড়ে।**

$$AgNO_3 + HCl = AgCl\downarrow + HNO_3 \;;\; Pb(NO_3)_2 + 2HCl = PbCl_2\downarrow + 2HNO_3$$
$$Hg_2(NO_3)_2 + 2HCl = Hg_2Cl_2\downarrow + 2HNO_3$$

(8) নাইট্রিক অ্যাসিডের সঙ্গে (অ্যাকোয়া রিজিয়া) ঃ তিন আয়তন গাঢ় HCl-এর সঙ্গে এক আয়তন গাঢ় HNO_3 মেশালে

ওই মিশ্রণকে অম্লরাজ (*Aqua Regia*) বলে। বিক্রিয়ার ফলে **নাইট্রোসিল ক্লোরাইড ও জায়মান ক্লোরিন** উৎপন্ন হয়। সেইজন্য গোল্ড, প্ল্যাটিনাম প্রভৃতি নোবল মেটাল অম্লরাজে দ্রবীভূত হয়।

$$3HCl + HNO_3 = NOCl + 2Cl + 2H_2O$$

● **হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের শনাক্তকরণ** (Identification of HCl) ঃ

(i) হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের সঙ্গে সিলভার নাইট্রেট দ্রবণ যোগ করলে AgCl-এর সাদা থকথকে অধঃক্ষেপ পড়ে। **এই অধঃক্ষেপ নাইট্রিক অ্যাসিডে অদ্রাব্য কিন্তু অতিরিক্ত NH_4OH-এ দ্রাব্য।**

$$HCl + AgNO_3 = AgCl\downarrow + HNO_3 \quad ; \quad AgCl + 2NH_3 = [Ag(NH_3)_2]\,Cl \text{ (জলে দ্রাব্য)}$$

(ii) ক্রোমিল-ক্লোরাইড পরীক্ষা ঃ ক্লোরাইড লবণ এবং $K_2Cr_2O_7$ (কঠিন)-এর মিশ্রণে গাঢ় H_2SO_4 যোগ করে উত্তপ্ত করলে লাল রং-এর ক্রোমিল ক্লোরাইড (CrO_2-Cl_2) গ্যাস উৎপন্ন হয়। এই গ্যাসকে NaOH দ্রবণে দ্রবীভূত ক'রে ওর মধ্যে অ্যাসেটিক অ্যাসিড এবং লেড অ্যাসিটেট মেশালে হলুদ রং-এর লেড ক্রোমেট অধঃক্ষিপ্ত হয়।

$$K_2Cr_2O_7 + 4KCl + 6H_2SO_4 = 6KHSO_4 + 3H_2O + 2CrO_2Cl_2 \text{ (ক্রোমিল ক্লোরাইড)}$$
$$CrO_2Cl_2 + 2H_2O = H_2CrO_4 + 2HCl$$
$$(CH_3COO)_2Pb + H_2CrO_4 = PbCrO_4\downarrow \text{ (হলুদ অধঃক্ষেপ)} + 2CH_3COOH$$

● **হাইড্রোজেন ক্লোরাইডের ব্যবহার ঃ (i)** হাইড্রোজেন ক্লোরাইড পরীক্ষাগারে একটি অতি **প্রয়োজনীয় বিকারক। (ii)** ক্লোরিন ও বিভিন্ন **ধাতব ক্লোরাইড প্রস্তুতিতে** HCl ব্যবহৃত হয়। **(iii) রঞ্জন শিল্পে, চর্মশিল্পে, লোহার উপর জিঙ্ক বা টিনের প্রলেপ** দিতে এবং ওষুধরূপে হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড ব্যবহৃত হয়। **(iv)** সোনা, প্ল্যাটিনাম প্রভৃতি ধাতুগুলিকে দ্রবীভূত করে ওদের ধাতুর লবণ প্রস্তুতির জন্য ব্যবহৃত অ্যাকোয়া রিজিয়া প্রস্তুতে HCl ব্যবহৃত হয়। **(v)** স্টার্চ থেকে **গ্লুকোজ প্রস্তুতিতে** HCl ব্যবহৃত হয়।

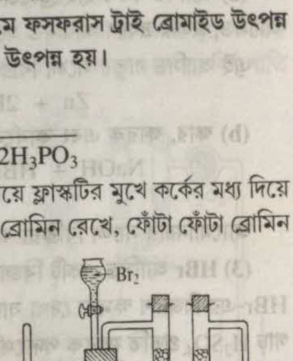
● হাইড্রোব্রোমিক অ্যাসিড বা হাইড্রোজেন ব্রোমাইড ●

1.63. হাইড্রোব্রোমিক অ্যাসিড প্রস্তুতি [Preparation of Hydrogen Bromide]

(1) পরীক্ষাগার প্রস্তুতি ঃ নীতি ঃ লাল ফসফরাস, ব্রোমিন এবং **জলের** বিক্রিয়ার দ্বারা পরীক্ষাগারে পরোক্ষভাবে হাইড্রোব্রোমিক অ্যাসিড উৎপন্ন করা হয়। **লাল ফসফরাসের সঙ্গে ব্রোমিনের ক্রিয়ায় প্রথমে ফসফরাস ট্রাই ব্রোমাইড উৎপন্ন হয়। উৎপন্ন ফসফরাস ট্রাই-ব্রোমাইডের সঙ্গে জলের বিক্রিয়ায় হাইড্রোজেন ব্রোমাইড উৎপন্ন হয়।**

$$2P + 3Br_2 = 2PBr_3$$
$$2PBr_3 + 6H_2O = 6HBr + 2H_3PO_3$$
$$\overline{2P + 3Br_2 + 6H_2O = 6HBr + 2H_3PO_3}$$

(B) পদ্ধতি ঃ একটি ফ্লাস্কের মধ্যে কিছু **লাল ফসফরাস ও তার দ্বিগুণ পরিমাণ জল** নিয়ে ফ্লাস্কটির মুখে কর্কের মধ্য দিয়ে একটি বিন্দুপাতী ফানেল ও একটি নির্গম নল প্রবেশ করানো হয়। বিন্দুপাতী ফানেলের মধ্যে ব্রোমিন রেখে, ফোঁটা ফোঁটা ব্রোমিন লাল ফসফরাস ও জলের মধ্যে ফেলা হয়। দরকার হলে ফ্লাস্কটিকে একটু গরম করা হয়। বিক্রিয়ার ফলে তাপ উৎপন্ন হয়ে ফ্লাস্কটি গরম হয় এবং উৎপন্ন হাইড্রোজেন ব্রোমাইড গ্যাস বেরিয়ে যায়। **এইভাবে উৎপন্ন HBr-এর সঙ্গে অবিকৃত Br_2 বাষ্প থেকে যায়।** নির্গত গ্যাসমিশ্রণকে U-নলে রাখা লাল ফসফরাস মাখানো কতকগুলি কাচের টুকরার উপর দিয়ে চালনা করা হয়। ব্রোমিন বাষ্পকে লাল ফসফরাস শোষণ করে। হাইড্রোজেন ব্রোমাইড বাতাসের চেয়ে ভারি, সেইজন্য একটি খাড়া করা গ্যাসজারে বাতাসের **ঊর্ধ্ব-অপসারণ দ্বারা** হাইড্রোজেন ব্রোমাইড গ্যাস জমা হয়।



চিত্র 1.30 ঃ হাইড্রোজেন ব্রোমাইড প্রস্তুতি

● **সোডিয়াম ব্রোমাইড বা পটাশিয়াম ব্রোমাইডের উপর গাঢ় H_2SO_4-এর বিক্রিয়া দ্বারা হাইড্রোজেন ব্রোমাইড প্রস্তুত করা যায় না,** এর কারণ হল— NaBr বা KBr-এর সঙ্গে গাঢ় H_2SO_4 যোগে উত্তপ্ত করলে প্রথমে হাইড্রোজেন ব্রোমাইড উৎপন্ন হয় বটে কিন্তু উৎপন্ন HBr, জারক অ্যাসিড গাঢ় H_2SO_4 দ্বারা জারিত হয়ে লাল বর্ণের ব্রোমিনে পরিণত হয়।

$$2NaBr + H_2SO_4 = Na_2SO_4 + 2HBr$$
$$H_2SO_4 = H_2O + SO_2 + O$$
$$2HBr + O = H_2O + Br_2$$

এইজন্য NaBr বা KBr-কে গাঢ় H_2SO_4-এর সঙ্গে উত্তপ্ত করে HBr উৎপন্ন করা যায় না।

অনার্দ্র $CaCl_2$ দ্বারা HBr-কে শুষ্ক করা যায়।

হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড প্রস্তুতির মত HBr গ্যাসকে জলে দ্রবীভূত করে হাইড্রোব্রোমিক অ্যাসিড উৎপন্ন করা হয়।

(2) ব্রোমিন থেকে হাইড্রোব্রোমিক অ্যাসিড প্রস্তুতি ঃ ব্রোমিন জলের মধ্যে দিয়ে হাইড্রোজেন সালফাইড গ্যাস চালনা করলে Br_2 হাইড্রোজেন সালফাইড দ্বারা বিজারিত হয়ে HBr উৎপন্ন করে। H_2S জারিত হয়ে S-এর অধঃক্ষেপ উৎপন্ন করে। উৎপন্ন S-কে ফিলটার করে পৃথক করলে HBr-এর জলীয় দ্রবণকে পরিস্রুত রূপে পাওয়া যায়।

$$H_2S + Br_2 = 2HBr + S\downarrow$$

(3) সংশ্লেষণ পদ্ধতি ঃ লোহিততপ্ত Pt তারজালির উপর দিয়ে হাইড্রোজেন এবং ব্রোমিন গ্যাসের মিশ্রণকে চালনা করে হাইড্রোজেন ব্রোমাইড উৎপন্ন করা হয়। $H_2 + Br_2 = 2HBr$

(4) ব্রোমিন জলের মধ্যে SO_2 গ্যাস চালনা করলে ব্রোমিন SO_2 দ্বারা বিজারিত হয়ে হাইড্রোব্রোমিক অ্যাসিডে পরিণত হয় এবং SO_2 ব্রোমিন দ্বারা জারিত হয়ে H_2SO_4 উৎপন্ন করে। $Br_2 + SO_2 + 2H_2O = 2HBr + H_2SO_4$

1.64. হাইড্রোজেন ব্রোমাইডের ধর্ম [Properties of HBr]

(A) ভৌত ধর্ম ঃ হাইড্রোজেন ব্রোমাইড ঝাঁঝালো গন্ধযুক্ত বর্ণহীন গ্যাস, বাতাসের চেয়ে ভারি। হাইড্রোজেন ব্রোমাইড জলে খুব দ্রাব্য, জলীয় দ্রবণকে হাইড্রোব্রোমিক অ্যাসিড বলে। জলীয় বাষ্পপূর্ণ বাতাসে হাইড্রোজেন ব্রোমাইড ধূমায়িত হয়।

(B) রাসায়নিক ধর্ম ঃ

(1) স্থায়িত্ব (i) হ্যালোজেনের মৌলগুলির পারমাণবিক ওজন যত বাড়ে তাদের হাইড্রাসিডগুলির স্থায়িত্ব তত কমতে থাকে। 800ºC উষ্ণতায় HBr বিয়োজিত হয়ে H_2 এবং Br_2 উৎপন্ন করে। $2HBr \rightleftharpoons H_2 + Br_2$

(ii) হাইড্রোব্রোমিক অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণকে খোলা বাতাসে সূর্যালোকে রেখে দিলে বাতাসের অক্সিজেন দ্বারা জারিত হয়ে ব্রোমিন মুক্ত করে। এই মুক্ত ব্রোমিন, জলে দ্রবীভূত হয়ে হলুদ বর্ণের দ্রবণ উৎপন্ন করে।

$$4HBr + O_2 = 2Br_2 + 2H_2O$$

(2) অ্যাসিড ধর্ম ঃ হাইড্রোজেন ব্রোমাইডের জলীয় দ্রবণকে হাইড্রোব্রোমিক অ্যাসিড বলে। এই অ্যাসিড তীব্র একক্ষারিক অ্যাসিড, জলীয় দ্রবণে আয়নিত হয়ে H^+ এবং Br^- আয়ন দেয়। $HBr \rightleftharpoons H^+ + Br^-$

এই অ্যাসিড ধাতুর সঙ্গে বিক্রিয়া করে ব্রোমাইড লবণ উৎপন্ন করে এবং H_2 নির্গত হয়।

$$Zn + 2HBr = ZnBr_2 + H_2 \quad ; \quad Fe + 2HBr = FeBr_2 + H_2$$

(b) ক্ষার, ক্ষারক এবং কার্বনেটের সঙ্গে বিক্রিয়ায় ব্রোমাইড লবণ উৎপন্ন করে।

$$NaOH + HBr = NaBr + H_2O \quad ; \quad MgO + 2HBr = MgBr_2 + H_2O$$

$$Na_2CO_3 + 2HBr = 2NaBr + CO_2 + H_2O$$

অ্যামোনিয়ার সঙ্গে বিক্রিয়া করে অ্যামোনিয়াম ব্রোমাইড উৎপন্ন করে। $HBr + NH_3 = NH_4Br$

(3) HBr অ্যাসিড একটি বিজারক ঃ HBr সহজেই বিশ্লিষ্ট হয়ে H_2 এবং Br_2-তে পরিণত হওয়ার প্রবণতা আছে। সেইজন্য HBr-এর বিজারণ ক্ষমতা দেখা যায়। **ক্লোরিন, ম্যাঙ্গানিজ ডাইঅক্সাইড, পটাশিয়াম পারম্যাঙ্গানেট, পটাশিয়াম ডাইক্রোমেট, গাঢ় H_2SO_4 প্রভৃতি জারক পদার্থের সঙ্গে বিক্রিয়ায় HBr নিজে জারিত হয়ে Br_2 উৎপন্ন করে এবং পদার্থগুলিকে বিজারিত করে।**

(i) Cl_2 বিজারিত হয়ে HCl-এ পরিণত হয় এবং HBr জারিত হয়ে Br_2 উৎপন্ন করে।

$$\overset{0}{Cl_2} + 2HBr = 2H\overset{-1}{Cl} + Br_2$$

(ii) MnO_2 বিজারিত হয়ে $MnBr_2$-তে পরিণত হয়। $\overset{+4}{Mn}O_2 + 4HBr = \overset{+2}{Mn}Br_2 + Br_2 + 2H_2O$

(iii) কমলা বর্ণের $K_2Cr_2O_7$ দ্রবণকে HBr বিজারিত করে সবুজ বর্ণের **ক্রোমিক ব্রোমাইড উৎপন্ন করে এবং নিজে জারিত হয়ে** লাল বর্ণের Br_2 মুক্ত করে। $K_2\overset{+6}{Cr_2}O_7 + 14HBr = 2KBr + 2\overset{+3}{Cr}Br_3 + 3Br_2 + 7H_2O$

(iv) গাঢ় H_2SO_4-কে বিজারিত করে SO_2-তে পরিণত করে। $2HBr + H_2\overset{+6}{S}O_4 = Br_2 + \overset{+4}{S}O_2 + 2H_2O$

(v) $KMnO_4$-কে বিজারিত করে বর্ণহীন ম্যাঙ্গানাস ব্রোমাইডে পরিণত করে।

$$2K\overset{+7}{Mn}O_4 + 16HBr = 2KBr + 2\overset{+2}{Mn}Br_2 + 6Br_2 + 8H_2O$$

● প্রমাণ করো হাইড্রোজেন ব্রোমাইডের মধ্যে ব্রোমিন আছে।

একটি টেস্ট টিউবের মধ্যে সামান্য হাইড্রোব্রোমিক অ্যাসিড নিয়ে ওর সঙ্গে ক্লোরিন জল যোগ করে ভাল করে নাড়া যায়। এরপর ওই মিশ্রণে কার্বন ডাইসালফাইড যোগ করে ভাল করে নাড়ার পর মিশ্রণটি স্থির হলে দেখা গেল যে CS_2 স্তরটি লাল বর্ণ ধারণ করেছে। অর্থাৎ HBr ক্লোরিন দ্বারা জারিত হয়ে Br_2 মুক্ত করে, এই মুক্ত Br_2 CS_2-তে দ্রবীভূত হয়ে ওই লাল বর্ণের স্তর গঠন করে।

$$2HBr + Cl_2 = 2HCl + Br_2$$

এর দ্বারা প্রমাণিত হয় যে হাইড্রোব্রোমিক অ্যাসিডের মধ্যে ব্রোমিন আছে।

● হাইড্রোজেন ব্রোমাইডের শনাক্তকরণ ঃ (i) HBr-কে গাঢ় H_2SO_4-এর সঙ্গে উত্তপ্ত করলে লাল রং-এর Br_2 গ্যাস বের হয়। নির্গত গ্যাসের মধ্যে স্টার্চ আয়োডাইড দ্রবণে সিক্ত কাগজ নীল হয়ে যায়। (ii) HBr কিংবা ব্রোমাইড লবণের জলীয় দ্রবণে $AgNO_3$ দ্রবণ যোগ করলে **হালকা হলুদ রং-এর সিলভার ব্রোমাইড অধঃক্ষিপ্ত হয়।** এই অধঃক্ষেপ HNO_3-তে অদ্রাব্য কিন্তু অতিরিক্ত NH_4OH-এ ধীরে ধীরে দ্রবীভূত হয়।

$$HBr + AgNO_3 = AgBr \downarrow + HNO_3$$

● হাইড্রোব্রোমিক অ্যাসিডের ব্যবহার ঃ (i) জৈব রসায়নে ব্রোমো যৌগ উৎপন্ন এবং AgBr ফোটোগ্রাফিতে ও KBr ওষুধ রূপে ব্যবহৃত হয়।

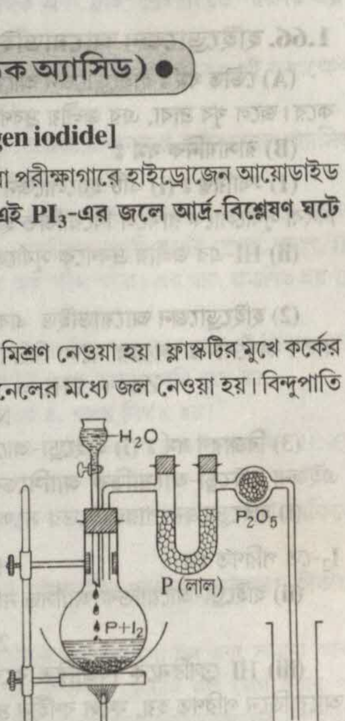
● হাইড্রোজেন আয়োডাইড (হাইড্রো-আয়োডিক অ্যাসিড) ●

1.65. হাইড্রোজেন আয়োডাইডের প্রস্তুতি [Preparation of Hidrogen iodide]

(A) পরীক্ষাগার প্রস্তুতি ঃ লাল ফসফরাস ও জলের সঙ্গে আয়োডিনের বিক্রিয়ার দ্বারা পরীক্ষাগারে হাইড্রোজেন আয়োডাইড উৎপন্ন করা হয়। **লাল P প্রথমে I_2-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে PI_3-তে পরিণত হয়। এই PI_3-এর জলে আর্দ্র-বিশ্লেষণ ঘটে HI উৎপন্ন করে।**

$$2P + 3I_2 = 2PI_3$$
$$2PI_3 + 6H_2O = 6HI + 2H_3PO_3$$

(B) পদ্ধতি ঃ (1) একটি গোলতল ফ্লাস্কের মধ্যে **লাল ফরফরাস** এবং **আয়োডিনের** মিশ্রণ নেওয়া হয়। ফ্লাস্কটির মুখে কর্কের মধ্য দিয়ে একটি বিন্দুপাতী ফানেল এবং একটি নির্গম-নল লাগানো থাকে। বিন্দুপাতী ফানেলের মধ্যে জল নেওয়া হয়। বিন্দুপাতি ফানেল থেকে ফোঁটা ফোঁটা জল, আয়োডিন ও লাল ফসফরাসের মিশ্রণে ফেলা হয়। এইবার ফ্লাস্কটিকে সামান্য গরম করলেই তীব্র বিক্রিয়া শুরু হয়। বিক্রিয়ার ফলে হাইড্রোজেন আয়োডাইড গ্যাস উৎপন্ন হয়। এই গ্যাস নির্গম-নলের মধ্য দিয়ে বেরিয়ে আসে।



চিত্র 1.31 ঃ হাইড্রোজেন আয়োডাইড প্রস্তুতি

নির্গত HI-এর সঙ্গে সামান্য আয়োডিন বাষ্প থাকে। I_2-কে দূর করার জন্য গ্যাস মিশ্রণটিকে প্রথমে একটি U-টিউবের মধ্যে রাখা সামান্য জলে ভেজানো লাল ফসফরাসের উপর দিয়ে চালনা করে I_2 মুক্ত করা হয় এবং P_2O_5-এর উপর দিয়ে চালনা করে জলমুক্ত করা হয়। যেহেতু HI বাতাসের চেয়ে বেশি ভারি, তাই নির্গত HI-গ্যাসকে একটি গ্যাসজারে বাতাসের উর্ধ্ব-অপসারণ দ্বারা সংগ্রহ করা হয়।

● NaI বা KI সঙ্গে গাঢ় H_2SO_4 মিশিয়ে উত্তপ্ত করে হাইড্রোজেন আয়োডাইড উৎপন্ন করা যায় না, কারণ, NaI বা KI-এর সঙ্গে গাঢ় H_2SO_4 মিশিয়ে উত্তপ্ত করলে হাইড্রোজেন আয়োডাইড উৎপন্ন হলেও, এই উৎপন্ন HI গাঢ় H_2SO_4 দ্বারা জারিত হয়ে আয়োডিনে পরিণত হয়ে যায়, তাই NaI বা KI-এর সঙ্গে গাঢ় H_2SO_4-এর বিক্রিয়ায় HI উৎপন্ন করা যায় না।

● গাঢ় H_2SO_4 বা কলিচুন দ্বারা HI-কে শুষ্ক করা যায় না।

গাঢ় H_2SO_4 একটি তীব্র জারক পদার্থ তাই HI-কে জারিত করে I_2 মুক্ত করে।

$$H_2SO_4 + 2HI = 2H_2O + SO_2 + I_2$$

CaO একটি ক্ষারীয় অক্সাইড এবং HI একটি তীব্র অ্যাসিড। তাই CaO-এর সঙ্গে HI-এ বিক্রিয়ায় CaI_2 উৎপন্ন করে।

$$CaO + 2HI = CaI_2 + H_2O$$

(2) সংশ্লেষণ পদ্ধতি ঃ H_2 এবং I_2 বাষ্পের মিশ্রণকে লোহিততপ্ত প্ল্যাটিনাম তারজালির উপর চালনা করলে H_2 এবং I_2 পরস্পর যুক্ত হয়ে HI উৎপন্ন করে। $H_2 + I_2 \rightleftharpoons 2HI$

(3) সোডিয়াম বা পটাশিয়াম আয়োডাইডের সঙ্গে গাঢ় H_3PO_4 মিশিয়ে উত্তপ্ত করলে হাইড্রোজেন আয়োডাইড উৎপন্ন হয়।

$$3NaI + H_3PO_4 = Na_3PO_4 + 3HI$$

মার্কারির সঙ্গে সাধারণ উষ্ণতায় HI বিক্রিয়া করে বলে এই গ্যাস কখনো মার্কারির উপর সংগ্রহ করা হয় না।

(4) হাইড্রো-আয়োডিক অ্যাসিড প্রস্তুতি ঃ

(i) এইভাবে উৎপন্ন হাইড্রোজেন আয়োডাইড গ্যাসকে জলে দ্রবীভূত করে হাইড্রো-আয়োডিক অ্যাসিড পাওয়া যায়। HCl-গ্যাসকে যে পদ্ধতিতে জলে দ্রবীভূত করে হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড প্রস্তুত করা হয়, ঠিক সেই পদ্ধতিতে HI গ্যাসকে জলে দ্রবীভূত করে হাইড্রো-আয়োডিক অ্যাসিড উৎপন্ন করা হয়।

(ii) আয়োডিন থেকে হাইড্রো-আয়োডিক অ্যাসিড-প্রস্তুতি ঃ জলে প্রলম্বিত আয়োডিনের মধ্য দিয়ে H_2S গ্যাস চালনা করলে আয়োডিন বিজারিত হয়ে HI উৎপন্ন করে। ফিলটার করে S-এর অধঃক্ষেপ পৃথক করলে পরিস্রুত রূপে HI-এর জলীয় দ্রবণ পাওয়া যায়। $H_2S + I_2 = 2HI + S\downarrow$

1.66. হাইড্রোজেন আয়োডাইডের ধর্ম [Properties of HI]

(A) ভৌত ধর্ম ঃ হাইড্রোজেন আয়োডাইড ঝাঁঝালো গন্ধযুক্ত বর্ণহীন গ্যাস। বাতাসের চেয়ে ভারী, আর্দ্র বাতাসে ধোঁয়ার সৃষ্টি করে। জলে খুব দ্রাব্য, এর জলীয় দ্রবণকে হাইড্রো-আয়োডিক অ্যাসিড বলে।

(B) রাসায়নিক ধর্ম ঃ

(1) স্থায়িত্ব ঃ (i) 4টি হ্যালোজেন অ্যাসিডের মধ্যে **হাইড্রোজেন আয়োডাইড সবচেয়ে কম স্থায়ী।** HI-কে উত্তপ্ত করলে কিংবা সূর্যালোকে রাখলে বিয়োজিত হয়ে H_2 এবং I_2 উৎপন্ন করে। $2HI \rightleftharpoons H_2 + I_2$

(ii) HI-এর জলীয় দ্রবণকে সূর্যালোকে রাখলে বাতাসের O_2 দ্বারা জারিত হয়ে I_2 মুক্ত করে।

$$4HI + O_2 = 2H_2O + 2I_2$$

(2) হাইড্রোজেন আয়োডাইড এক-ক্ষারিক অ্যাসিড। HI একটি তীব্র অ্যাসিড। নীল লিটমাসকে লাল করে। কয়েকটি ধাতু, ধাতব কার্বনেট ও ক্ষারের সঙ্গে বিক্রিয়া করে **আয়োডাইড লবণ** উৎপন্ন করে।

$$Zn + 2HI = ZnI_2 + H_2\uparrow \quad ; \quad NaOH + HI = NaI + H_2O$$

$$Na_2CO_3 + 2HI = 2NaI + CO_2 + H_2O$$

(3) বিজারণ ধর্ম ঃ (i) হাইড্রো-আয়োডিক অ্যাসিড সহজে বিশ্লিষ্ট হয়ে H_2 এবং I_2-কে পরিণত হওয়ায় প্রবণতা দেখা যায়। এইজন্য **হাইড্রো-আয়োডিক অ্যাসিডের বিজারণ-ধর্ম দেখা যায়।**

(i) হাইড্রোজেন পারক্সাইডের সঙ্গে HI-এর বিক্রিয়ায়, H_2O_2 বিজারিত হয়ে H_2O-তে পরিণত হয় এবং HI জারিত হয়ে I_2-তে পরিণত হয়। $H_2\overset{-1}{O_2} + 2HI = 2H_2\overset{-2}{O} + I_2$

(ii) হাইড্রো-আয়োডিক অ্যাসিড নাইট্রিক অ্যাসিডকে বিজারিত করে নাইট্রোজেন ডাই-অক্সাইডে পরিণত করে।

$$2H\overset{+5}{N}O_3 + 2HI = 2H_2O + 2\overset{+4}{N}O_2 + I_2$$

(iii) HI ক্লোরিনকে বিজারিত করে বর্ণহীন হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডে পরিণত করে এবং নিজে Cl_2 দ্বারা জারিত হয়ে আয়োডিনে পরিণত হয়, ফলে বর্ণহীন দ্রবণ বাদামি হয়ে যায়। দ্রবণটিতে অতিরিক্ত Cl_2 চালনা করলে উৎপন্ন আয়োডিন বর্ণহীন আয়োডিক অ্যাসিডে জারিত হয় ফলে দ্রবণটির বাদামি বর্ণ বর্ণহীন হয়ে যায়।

$$\overset{0}{Cl_2} + 2HI = 2H\overset{-1}{Cl} + I_2$$

$$I_2 + 5Cl_2 + 6H_2O = 2HIO_3 + 10HCl$$

(iv) হলুদ বর্ণে ফেরিক ক্লোরাইড দ্রবণকে HI বিজারিত করে বর্ণহীন ফেরাস ক্লোরাইডে পরিণত করে।

$$2\overset{+3}{Fe}Cl_3 + 2HI = 2\overset{+2}{Fe}Cl_2 + 2HCl + I_2$$

(v) হাইড্রো-আয়োডিক অ্যাসিড, আম্লিক পটাশিয়াম ডাইক্রোমেট দ্রবণকে বিজারিত করে **সবুজ রং-এর ক্রোমিক লবণ** উৎপন্ন করে এবং বেগুনি বর্ণের আম্লিক $KMnO_4$ দ্রবণকে বিজারিত করে বর্ণহীন ম্যাঙ্গানাস লবণ উৎপন্ন করে, ফলে দ্রবণের **বেগুনি রং বর্ণহীন হয়।**

$$K_2\overset{+6}{Cr_2}O_7 + 4H_2SO_4 + 6HI = K_2SO_4 + \overset{+3}{Cr_2}(SO_4)_3 + 3I_2 + 7H_2O$$

$$2KMnO_4 + 3H_2SO_4 + 10HI = K_2SO_4 + 2MnSO_4 + 8H_2O + 5I_2$$

(vi) কপার সালফেটকে বিজারিত করে কিউপ্রাস আয়োডাইডের সাদা অধঃক্ষেপ উৎপন্ন করে, নিজে জারিত হয়ে I_2-তে পরিণত হয়। এই বিক্রিয়াটি অন্যান্য হ্যালোজেন অ্যাসিড করে না।

$$2CuSO_4 + 4HI = Cu_2I_2 + 2H_2SO_4 + I_2$$

(vii) HBr-এর চেয়ে HI আরও তীব্র বিজারক হওয়ার জন্য HI সালফিউরিক অ্যাসিডকে বিজারিত করে শুধু SO_2 উৎপন্ন করে না, S এবং H_2S-ও উৎপন্ন করে।

$$H_2\overset{+6}{S}O_4 + 2HI = I_2 + 2H_2O + \overset{+4}{S}O_2 \quad ; \quad H_2\overset{+6}{S}O_4 + 6HI = 3I_2 + 4H_2O + \overset{0}{S}\downarrow$$

$$H_2\overset{+6}{S}O_4 + 8HI = 4I_2 + 4H_2O + H_2\overset{-2}{S}$$

(viii) আয়োডিক অ্যাসিডকে বিজারিত করে I_2 মুক্ত করে। $5HI + HIO_3 = 3H_2O + 3I_2$

(ix) নাইট্রাস অ্যাসিডের সঙ্গে HI যোগ করলে, HNO_2 বিজারিত হয়ে নাইট্রিক অক্সাইডে পরিণত হয় এবং HI জারিত হয়ে I_2 মুক্ত করে। $2H\overset{+5}{N}O_2 + 2HI = 2\overset{+2}{N}O + I_2 + 2H_2O$

(4) হাইড্রোজেন আয়োডাইড গ্যাস ক্লোরিনের সংস্পর্শে আয়োডিন মনোক্লোরাইড এবং ট্রাই-ক্লোরাইডে পরিণত হয়।

$$4HI + 4Cl_2 = I_2 + ICl + ICl_3 + 4HCl$$

(5) লবণের সঙ্গে ক্রিয়া ঃ (i) $AgNO_3$ দ্রবণে HI, সিলভার আয়োডাইডের হলুদ অধঃক্ষেপ উৎপন্ন করে। এই অধঃক্ষেপ HNO_3 বা অতিরিক্ত NH_4OH-এ অদ্রাব্য। $AgNO_3 + HI = AgI\downarrow + HNO_3$

(ii) মারকিউরিক ক্লোরাইড দ্রবণে লাল বর্ণের HgI_2 অধঃক্ষেপ উৎপন্ন করে। **এই বিক্রিয়াটি অন্যান্য হ্যালোজেন অ্যাসিড করে না।** $HgCl_2 + 2HI = HgI_2 + 2HCl$

● **হাইড্রোজেন আয়োডাইডের মধ্যে আয়োডিন আছে—প্রমাণ ঃ** HI-এর জলীয় দ্রবণে ক্লোরিন জল যোগ করে ভাল করে নাড়ার পর ওই দ্রবণে CS_2 যোগ করে আবার নাড়া হল। দ্রবণটি স্থির অবস্থায় এলে উপরের CS_2 স্তরটিকে বেগুনি বর্ণের দেখায়, কারণ, HI ক্লোরিন দ্বারা জারিত হয়ে I_2 মুক্ত করে। এই আয়োডিন CS_2-এ দ্রবীভূত হয়ে বেগুনি বর্ণের স্তর গঠন করে। এর দ্বারা প্রমাণিত হয় যে হাইড্রোআয়োডিক অ্যাসিডে আয়োডিন আছে। $2HI + Cl_2 = 2HCl + I_2$

● **হাইড্রোজেন আয়োডাইডের শনাক্তকরণ ঃ (i)** HI বা আয়োডাইড লবণের দ্রবণে ক্লোরিন জল যোগ করে ওই মিশ্রণে CS_2 ঝাঁকালে HI-এর সঙ্গে Cl_2-এর বিক্রিয়ায় I_2 মুক্ত হয় যা CS_2-তে দ্রবীভূত হয়ে যায়, ফলে CS_2-এর স্তর বেগুনি হয়ে যায়।

(ii) HI অথবা আয়োডাইড লবণকে গাঢ় H_2SO_4-এর সঙ্গে উত্তপ্ত করলে বেগুনি রং-এর I_2 বাষ্প নির্গত হয়।

(iii) HI অথবা আয়োডাইডের জলীয় দ্রবণে $AgNO_3$ দ্রবণ যোগ করলে হালকা হলুদ রং-এর অধঃক্ষেপ পড়ে। এই অধঃক্ষেপ HNO_3 বা NH_4OH-এ অদ্রাব্য।

● **হাইড্রোজেন আয়োডাইডের ব্যবহার ঃ (i)** জৈব রসায়নে বিজারক রূপে, **(ii)** KI ওষুধ রূপে, **(iii)** AgI ফটোগ্রাফিতে ব্যবহৃত হয়।

● **পটাশিয়াম ব্রোমাইড এবং পটাশিয়াম আয়োডাইড লবণ দুটির মিশ্রণে ব্রোমাইড ও আয়োডাইড মূলকে শনাক্তকরণ কীভাবে করা যায়?**

মিশ্রণটিকে একটি টেস্টটিউবে নিয়ে জলে দ্রবীভূত করে লঘু H_2SO_4 যোগ করে দ্রবণটিকে আম্লিক করা হল এবং সামান্য কার্বন টেট্রাক্লোরাইড যোগ করা হল। এই মিশ্রণটিতে ফোঁটা ফোঁটা করে Cl_2-জল যোগ করা হল। প্রতিবার ক্লোরিন জল যোগ করার পর দ্রবণটিকে ভালভাবে নাড়া হল। প্রথমে দেখা গেল CCl_4 স্তরটির বর্ণ বেগুনি হল। এর দ্বারা মিশ্রণটিতে আয়োডাইড মূলকের উপস্থিতি প্রমাণিত হল। এরপর আরও ক্লোরিন জল যোগ করা হল এবং প্রতিবার Cl_2 জল যোগ করার পর মিশ্রণটিকে ঝাঁকানো হল। এক সময় দেখা গেল CCl_4 স্তরে বেগুনি বর্ণ চলে গেল এবং CCl_4 স্তরটি লাল বর্ণ ধারণ করলো। এর দ্বারা মিশ্রণে ব্রোমাইড মূলকের উপস্থিতি প্রমাণিত হল।

বিক্রিয়া—মিশ্রণে Cl_2 জল যোগ করায় আয়োডাইড থেকে I_2 মুক্ত হয় যা CCl_4-এ দ্রবীভূত হয়ে বেগুনি বর্ণ ধারণ করে। ব্রোমাইড থেকে Br_2 মুক্ত হয়ে CCl_4-এ দ্রবীভূত হয় তবে বেগুনি বর্ণের জন্য Br_2-এর লাল বর্ণ ঢাকা পড়ে যায়। অতিরিক্ত Cl_2 জল যোগ করায় মুক্ত I_2 বর্ণহীন আয়োডিক অ্যাসিডে পরিণত হয়, তখন CCl_4 স্তরে ব্রোমিনের লাল বর্ণ দেখা যায়।

$$2KI + Cl_2 = 2KCl + I_2 \quad (CCl_4 \text{ স্তর বেগুনি করে})$$

$$I_2 + 5Cl_2 + 6H_2O = \underset{\text{বর্ণহীন}}{2HIO_3} + 10HCl$$

$$2KBr + Cl_2 = 2KCl + Br_2 \quad (CCl_4 \text{ স্তর লাল করে})$$

● ফ্লুওরিন, ক্লোরিন, ব্রোমিন এবং আয়োডিনের হাইড্রাইডের তুলনা।

হ্যালোজেন পরিবারের মৌলগুলি (F, Cl, Br, I) হাইড্রোজেনের সঙ্গে যুক্ত হয়ে উদ্‌বায়ী হাইড্রাইড (HX, X=F, Cl, Br, I) গঠন করে। প্রত্যেকটি হাইড্রাইডে, হ্যালোজেন মৌলগুলির জারণ সংখ্যা = –1, এই যৌগগুলিকে হ্যালোজেন অ্যাসিড বলে এবং এই অ্যাসিডগুলি দ্বারা গঠিত যৌগ হ্যালাইড নামে পরিচিত।

চারটি হ্যালোজেন অ্যাসিড আছে—**(i) হাইড্রোফ্লুওরিক অ্যাসিড বা হাইড্রোজেন ফ্লুওরাইড (HF), (ii) হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড বা হাইড্রোজেন ক্লোরাইড (HCl), (iii) হাইড্রোব্রোমিক অ্যাসিড বা হাইড্রোজেন ব্রোমাইড (HBr), (iv) হাইড্রোআয়োডিক অ্যাসিড বা হাইড্রোজেন আয়োডাইড (HI)**।

(1) বন্ধনের প্রকৃতি ঃ 4টি হ্যালোজেনের মধ্যে ফ্লুওরিন হল সবচেয়ে বেশি ইলেকট্রোনেগেটিভ আর আয়োডিন হল সবচেয়ে কম ইলেকট্রোনেগেটিভ। তাই H—F অণুর মধ্যে হাইড্রোজেন এবং ফ্লুওরিনের ইলেকট্রোনেগেটিভিটির পার্থক্য সবচেয়ে বেশি এবং H—I অণুতে H এবং I-এর মধ্যে ইলেকট্রোনেগেটিভিটির পার্থক্য সবচেয়ে কম। একটি অণুর মধ্যস্থ দুটি পরমাণুর মধ্যে ইলেকট্রোনেগেটিভিটির পার্থক্য যত বাড়ে, পরমাণু দুটির বন্ধনের মধ্যে আয়নীয় প্রকৃতি তত বৃদ্ধি পায়। তাই এই চারটি হ্যালোজেন অ্যাসিডের মধ্যে HF-এর মধ্যস্থ H এবং F-এর মধ্যে বন্ধনটি সবচেয়ে বেশি আয়নীয় এবং HI-এর মধ্যস্থ H এবং I-এর মধ্যে বন্ধনটির আয়নীয় প্রকৃতি সবচেয়ে কম। বন্ধনের ক্রমহ্রাসমান আয়নীয় প্রকৃতি অনুসারে হ্যালোজেন অ্যাসিডগুলিকে নীচের মতো সাজানো যায় ঃ $HF > HCl > HBr > HI.$

(2) অ্যাসিড ধর্ম ঃ HI-এর অ্যাসিড ধর্ম সবচেয়ে বেশি এবং HF-এর অ্যাসিড ধর্ম সবচেয়ে কম। এর কারণ হল H—I-এ বন্ধন দূরত্ব = 1·7 Å এবং H—F-এর বন্ধন দূরত্ব = 0·01 Å. বন্ধন দূরত্ব যত বাড়ে বন্ধন শক্তি তত কমে। তাই HI অণু থেকে বিচ্ছিন্ন হয়ে যত সহজে বেশি সংখ্যক H^+ আয়ন পাওয়া যাবে, HF থেকে তত সহজে বেশি সংখ্যক H^+ আয়ন পাওয়া যাবে না। তাই HF-এর চেয়ে HI-অ্যাসিডের তীব্রতা বেশি অর্থাৎ HF-এর চেয়ে HCl আবার HCl-এর চেয়ে HBr এবং HBr-এর চেয়ে HI সহজে আয়নে বিয়োজিত হয় [$HX \rightleftharpoons H^+ + X^-$]। তাই অ্যাসিডের তীব্রতা বৃদ্ধি অনুসারে সাজালে হ্যালোজেন অ্যাসিডগুলির এই ক্রমটি পাওয়া যায়— $HF < HCl < HBr < HI$

(3) বিজারণ ধর্ম ঃ HI এবং HBr-এর বিজারণ ধর্ম HCl বা HF-এর চেয়ে অনেক বেশি। তাই পরীক্ষাগারে HCl যে ভাবে করা হয়— ($NaCl + \underset{\text{গাঢ়}}{H_2SO_4} \xrightarrow[\text{তাপ}]{} NaHSO_4 + HCl$) সেই পদ্ধতিতে HI বা HBr উৎপন্ন করা যায় না।

● HI-এর বিজারণ ধর্ম দেখা যায় কেন?

হ্যালোজেন মৌলগুলির পরমাণু ব্যাসার্ধ ফ্লুওরিন থেকে ক্রমশ বৃদ্ধি পায় এবং I_2-এর পরমাণু ব্যাসার্ধ সর্বোচ্চ হয়। এর ফলে ফ্লুওরিন থেকে যত আয়োডিনের দিকে যাওয়া যায় পরমাণুগুলির ইলেকট্রোপজিটিভ ধর্ম তত বাড়তে থাকে—অর্থাৎ পরমাণুগুলির ইলেকট্রন বর্জন করার প্রবণতা তত বাড়ে এবং যা আয়োডিনে সর্বাধিক হয়। ইলেকট্রন বর্জন হওয়া মানেই জারিত হওয়া—সুতরাং বলা যায় F থেকে যত I_2-এর দিকে যাওয়া যায় পরমাণুগুলির জারিত হওয়ার প্রবণতা তত বাড়ে অর্থাৎ অপরকে বিজারিত করার প্রবণতা তত বাড়ে। এইজন্য হ্যালোজেন অ্যাসিডগুলির মধ্যে সবচেয়ে তীব্র বিজারক HI। তাই মৃদু জারক পদার্থ দ্বারা HI সহজে I_2-তে পরিণত হয়। HBr তার চেয়ে কম বিজারক। তাই দেখা যায় HBr এবং HI-কে গাঢ় H_2SO_4 জারিত করতে পারে, কিন্তু HCl-কে পারে না। **হ্যালোজেন অ্যাসিডগুলিকে বিজারণ ক্ষমতা অনুযায়ী সাজালে নীচের মতো হয়—**$HI > HBr > HCl > HF$

(4) স্থায়িত্ব ঃ দেখা যায় সাধারণ উষ্ণতার নীচে অন্ধকারে F_2 হাইড্রোজেনের সঙ্গে বিস্ফোরণসহ তীব্র গতিতে বিক্রিয়া করে HF উৎপন্ন করে। Cl_2-এর সঙ্গে H_2-এর বিক্রিয়া সূর্যালোকে বিস্ফোরণ সহ ঘটে। Br_2 এবং I_2-এর ক্ষেত্রে উচ্চতর উষ্ণতায় Pt অনুঘটকের উপস্থিতিতে ঘটে যথাক্রমে HBr এবং HI উৎপন্ন করে এবং বিক্রিয়াগুলি উভমুখী হয়। এর কারণ হল এই যে হাইড্রোজেনের প্রতি আসক্তি ফ্লুওরিন থেকে ক্রমশ আয়োডিনে হ্রাস পায়। সুতরাং **HF সবচেয়ে সুস্থিত এবং HI সবচেয়ে দুঃস্থিত।**

(5) HF অস্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্ক বিশিষ্ট তরল। এর কারণ F-এর তীব্র ইলেকট্রোনেগেটিভ ধর্মের জন্য একটি HF অণুর F পরমাণুর সঙ্গে অপর অণুর H পরমাণুর মধ্যে হাইড্রোজেন বন্ধনের সৃষ্টি হয়ে HF অণুগুলি পরস্পরের সঙ্গে সংযোজিত অবস্থায় থাকে $(HF)_n$, তাই HF-এর স্ফুটনাঙ্ক অন্যান্য হ্যালোজেন অ্যাসিডগুলির চেয়ে বেশি। HCl, HBr বা HI সাধারণ উষ্ণতায় গ্যাসীয় পদার্থ। হ্যালোজেন অ্যাসিডগুলিকে **স্ফুটনাঙ্ক হ্রাসের ক্রম অনুসারে সাজালে**— $HF > HCl > HBr > HI.$

1.67. ইন্টার হ্যালোজেন যৌগ [Inter-halogen compounds]

দুটি বিভিন্ন হ্যালোজেন মৌল নিজেদের মধ্যে রাসায়নিক বিক্রিয়া দ্বারা যুক্ত হয়ে যে দ্বি-যৌগ উৎপন্ন করে তাকে ইন্টার হ্যালোজেন যৌগ বলে। অথবা যে যৌগগুলির অণুতে দুই বা ততোধিক কেবল হ্যালোজেন পরমাণু উপস্থিত থাকে, সেই যৌগগুলিকে ইন্টার হ্যালোজেন যৌগ বলা হয়।

ইন্টার হ্যালোজেন যৌগগুলিকে 4টি বিভিন্ন শ্রেণিতে ভাগ করা যায়—

(1) AX শ্রেণি যেমন, ClF (ক্লোরিন মনোফ্লুওরাইড), BrF (ব্রোমিন মনো ফ্লুওরাইড), BrCl, ICl, IBr ইত্যাদি।

(2) AX_3 শ্রেণি যেমন, ClF_3 (ক্লোরিন ট্রাই ফ্লুওরাইড), BrF_3, ICl_3 ইত্যাদি।

(3) AX_5 শ্রেণি যেমন, BrF_5 (ব্রোমিন পেন্টা ফ্লুওরাইড), IF_5.

(4) AX_7 শ্রেণি যেমন, IF_7 (আয়োডিন হেপ্টা ফ্লুওরাইড)।

প্রস্তুতি ঃ (i) দুই বা তার বেশি সংখ্যক বিভিন্ন হ্যালোজেন পরস্পরের সঙ্গে সরাসরি যুক্ত হয়ে ইন্টার হ্যালোজেন যৌগ উৎপন্ন করে—

$$Cl_2 + F_2 \xrightarrow{252^{\circ}C} \underset{\text{ক্লোরিন মনোফ্লুওরাইড}}{2ClF} \qquad Cl_2 + 3F_2 \xrightarrow{202^{\circ}\text{-}250^{\circ}C} \underset{\text{ব্রোমিন ট্রাইফ্লুওরাইড}}{2ClF_3}$$

$$ClF_3 + F_2 \xrightarrow{hv} \underset{\text{ক্লোরিন পেন্টাফ্লুওরাইড}}{ClF_5,}$$

(ii) জলে প্রলম্বিত I_2-এর মধ্য দিয়ে Cl_2 গ্যাস চালনা করলে আয়োডিন মনোক্লোরাইড নামে বাদামি লাল বর্ণের তরল উৎপন্ন হয় এবং Br_2 চালনা করলে আয়োডিন মনোব্রোমাইড নামে গাঢ় লাল বর্ণের তরল উৎপন্ন হয়।

$$I_2 + Cl_2 = 2ICl \quad ; \quad I_2 + Br_2 = 2IBr$$

(iii) আয়োডিনের সঙ্গে ক্লোরিনের বিক্রিয়ায় আয়োডিন ট্রাইক্লোরাইড নামে হলুদ বর্ণের কঠিন যৌগ উৎপন্ন হয়।

$$I_2 + 3Cl_2 = 2ICl_3$$

(iv) ফ্লুওরিনের সঙ্গে ব্রোমিনের বিক্রিয়ায়, Br_2 ফ্লুওরিনকে বিজারিত করে ব্রোমিন ট্রাই ফ্লুওরাইড এবং ব্রোমিন পেন্টা ফ্লুওরাইডে পরিণত করে। $Br_2 + 3F_2 = 2BrF_3$; $Br_2 + 5F_2 = 2BrF_5$

ধর্ম ঃ (i) ইন্টার হ্যালোজেন যৌগ মাত্রই সমযোজী যৌগ। **(ii)** কোনো ইন্টার হ্যালোজেন যৌগের মধ্যস্থ উপাদান হ্যালোজেন মৌলগুলির চেয়ে ওই ইন্টার হ্যালোজেন যৌগটি অধিকতর সক্রিয় হয়। এর কারণ হল দুটি ভিন্ন হ্যালোজেনের মধ্যে গঠিত X_1 — X বন্ধনের চেয়ে বিশুদ্ধ X — X বন্ধন বেশি দৃঢ় হয়। **(iii)** ইন্টার হ্যালোজেন যৌগগুলির সবই হল তীব্র জারক পদার্থ। **(iv)** ইন্টার হ্যালোজেন যৌগের দুটি উপাদান হ্যালোজেনের ইলেকট্রোনেগেটিভিটির পার্থক্য যত বেশি হয়, যৌগটির গলনাঙ্ক ও স্ফুটনাঙ্ক তত বাড়তে থাকে।

● HF, HCl, HBr এবং HI-এর ধর্মের তুলনা ●

ধর্ম	HF	HCl	HBr	HI
(1) অ্যাসিড ধর্ম	মৃদু অ্যাসিড, অ্যাসিড লবণ উৎপন্ন করে।	তীব্র অ্যাসিড।	তীব্র অ্যাসিড।	তীব্র অ্যাসিড।
(2) স্থায়িত্ব	স্থায়িত্ব সবচেয়ে বেশি।	1500°C উষ্ণতায় H_2 এবং Cl_2-তে বিয়োজিত হয়।	800°C উষ্ণতায় H_2 এবং Br_2-তে বিয়োজিত হয়।	200°C উষ্ণতায় H_2 এবং I_2-তে বিয়োজিত হয়।
(3) প্রস্তুতি	CaF_2-এর সঙ্গে গাঢ় H_2SO_4-এর বিক্রিয়ায় HF উৎপন্ন হয়।	NaCl বা KCl-এর সঙ্গে গাঢ় H_2SO_4 মিশিয়ে উত্তপ্ত করে।	PBr_3-এর আর্দ্র-বিশ্লেষণ করে প্রস্তুত করা হয়।	PI_3-এর আর্দ্র-বিশ্লেষণ করে প্রস্তুত করা হয়।
(4) $AgNO_3$ দ্রবণে	কোনো অধঃক্ষেপ পড়ে না।	সাদা অধঃক্ষেপ পড়ে। (AgCl) যা HNO_3-তে অদ্রাব্য কিন্তু অতিরিক্ত NH_4OH-এ দ্রাব্য।	ফিকে হলুদ অধঃক্ষেপ (AgBr) পড়ে যা HNO_3-তে অদ্রাব্য, অতিরিক্ত NH_4OH-এ কম দ্রাব্য।	হলুদ অধঃক্ষেপ (AgI) পড়ে যা HNO_3-তে বা অতিরিক্ত NH_4OH-এ অদ্রাব্য।

ধর্ম	HF	HCl	HBr	HI
(5) গাঢ় H_2SO_4-এর সঙ্গে	কোনো বিক্রিয়া হয় না।	কোনো বিক্রিয়া হয় না।	জারিত হয়ে Br_2 উৎপন্ন করে।	জারিত হয়ে I_2 উৎপন্ন হয়।
(6) জারক পদার্থ $K_2Cr_2O_7$, $KMnO_4$, MnO_2-এর উপর ক্রিয়া	কোনো বিক্রিয়া হয় না।	জারিত হয়ে Cl_2 উৎপন্ন করে।	HCl-এর চেয়ে তীব্র বিজারক। জারিত হয়ে Br_2 উৎপন্ন করে।	HBr-এর চেয়েও তীব্র বিজারক। জারিত হয়ে I_2 উৎপন্ন করে।

অনুশীলনী

[A] অতিসংক্ষিপ্ত প্রশ্ন :

1. 17 গ্রুপের মৌলগুলিকে 'হ্যালোজেন' বলা হয় কেন? **2.** কোন্ হ্যালোজেন মৌলটির ইলেকট্রোনেগেটিভিটি সর্বোচ্চ এবং কোনটির ইলেকট্রন আসক্তি সর্বোচ্চ? **3.** গ্রুপের যত নীচের দিকে যাওয়া মৌলগুলি স্ফুটনাঙ্ক হ্রাস পায় কেন? **4.** আয়োডিনের দুটি ইলেকট্রোপজিটিভ ধর্মের উদাহরণ দাও। **5.** ইন্টার হ্যালোজেন যৌগ কাদের বলা হয়? একটি উদাহরণ দাও। **6.** কোন হ্যালোজেনের হাইড্রাসিডের তীব্রতা সর্বোচ্চ এবং কোনটির তীব্রতা সর্বনিম্ন? **7.** ClO_4^-, BrO_4^-, IO_4^-—এইগুলির মধ্যে কোনটির জারণ ক্ষমতা সবচেয়ে বেশি? **8.** ক্রমহ্রাসমান আয়নীয় চরিত্র রূপে নীচেরগুলিকে পরপর সাজাও M—F, M—Cl, M—Br, M—I যেখানে M একটি ধাতু। **9.** প্রদত্ত বিক্রিয়ায় X-কে শনাক্ত করো $Cl_2 + 2X^- \rightarrow 2Cl^- + X_2$ **10.** পর্যায় সারণির কোন গ্রুপে কঠিন, তরল এবং গ্যাসীয় মৌল অবস্থান করে? **11.** মোমের প্রলেপ দেওয়া কাচের বোতলে F_2 রাখা হয় কেন? **12.** লাল বর্ণের ব্রোমিন জলকে অনেকক্ষণ ধরে রেখে দিলে বর্ণহীন হয়ে যায় কেন? **13.** ফ্লুওরিন সর্বদা −1 জারণ অবস্থা দেখায় কেন? **14.** I_2 বিশুদ্ধ জলের চেয়ে KI দ্রবণে বেশি দ্রাব্য কেন?

[B] সংক্ষিপ্ত উত্তরধর্মী প্রশ্ন :

1. ইন্টার হ্যালোজেন যৌগগুলি, হ্যালোজেনগুলির চেয়ে বেশি সক্রিয় কেন?

2. উচ্চ উষ্ণতায় ফ্লুওরিন প্রস্তুতি বর্ণনা করো। ফ্লুওরিন একটি শক্তিশালী জারণ—কারণ ব্যাখ্যা করো।

3. প্রকৃতিতে ক্লোরিনের উৎস কী? ক্লোরিন প্রস্তুতির দুটি পদ্ধতি বর্ণনা করো।

4. দেখাও যে Cl_2 একটি জারক দ্রব্য এবং Br_2 বা I_2 এর চেয়ে Cl_2 বেশি তড়িৎ-ঋণাত্মক মৌল।

5. আয়োডিনের চেয়ে F_2 অনেক বেশি ইলেকট্রোনেগেটিভ হলেও HF চেয়ে HI এর বেশি তীব্র অ্যাসিড কেন?

6. ব্রোমিনের প্রাকৃতিক উৎসগুলির নাম করো। ব্রোমিন প্রস্তুতির 2টি পদ্ধতি বল। প্রমাণ করো আয়োডিনের চেয়ে Br_2 একটি শক্তিশালী জারক।

7. আয়োডিনের প্রস্তুতি বর্ণনা করো। একটি উদাহরণের সাহায্যে দেখাও যে I_2 এর কয়েকটি ধর্ম Cl_2 এবং Br_2-এর থেকে ভিন্ন।

8. (i) প্রমাণ করো ব্রোমিন একটি জারক দ্রব্য। (ii) লাল বর্ণের ব্রোমিন জলে কস্টিক সোডা মেশালে বর্ণহীন হয়ে যায় কেন?

9. (i) পরীক্ষাগারে অনার্দ্র হাইড্রোজেন ফ্লুওরাইডের প্রস্তুতি বর্ণনা করো। কাচ বা অন্য পাত্রের মধ্যে HF-কে রাখা যায় না কেন? (ii) দেখাও HF একটি অ্যাসিড এবং এটি দ্বিক্ষারিক অ্যাসিডের মতো ব্যবহার করে। (iii) হাইড্রোজেন ফ্লুওরাইডের শনাক্তকরণ এবং ব্যবহার লেখো।

10. (a) পরীক্ষাগারে হাইড্রোজেন ক্লোরাইড গ্যাস কীভাবে প্রস্তুত করা হয় বর্ণনা করো। (b) পরীক্ষাগারে হাইড্রোজেন ক্লোরাইডের জলীয় দ্রবণ কীভাবে প্রস্তুত করা হয়? (c) হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডকে শনাক্ত করবে কীভাবে?

11. (a) সোডিয়াম ব্রোমাইড বা পটাশিয়াম ব্রোমাইডের উপর গাঢ় H_2SO_4-এর বিক্রিয়ায় হাইড্রোজেন ব্রোমাইড প্রস্তুত করা যায় না কেন? (b) পরীক্ষাগারে হাইড্রোজেন ব্রোমাইড গ্যাস কীভাবে প্রস্তুত করা হয় বর্ণনা করো।

12. (a) ব্রোমিন থেকে HBr-এর জলীয় দ্রবণ কীভাবে প্রস্তুত করবে? (b) HBr গ্যাসকে গাঢ় H_2SO_4 বা CaO দ্বারা শুষ্ক করা যায় না কেন? গ্যাসটিকে কোন কোন নিরুদক দ্বারা শুষ্ক করা যায়?

13. (i) বিক্রিয়া দ্বারা দেখাও যে HBr একটি তীব্র একক্ষারী অ্যাসিড। (ii) পরীক্ষা দ্বারা দেখাও যে HBr একটি বিজারক দ্রব্য। (iii) HBr-এর জলীয় দ্রবণকে খোলা বাতাসে রাখলে হলুদ বর্ণ ধারণ করে কেন?

14. (i) পরীক্ষাগারে হাইড্রোজেন আয়োডাইড গ্যাস প্রস্তুত প্রণালী বর্ণনা করো। (ii) হাইড্রোজেন আয়োডাইডের জলীয় দ্রবণ অর্থাৎ হাইড্রো আয়োডিক অ্যাসিড কীভাবে প্রস্তুত করা যায়?

15. আয়োডিন থেকে কীভাবে হাইড্রো আয়োডিক অ্যাসিড পাওয়া যায়? (i) বিক্রিয়া দ্বারা প্রমাণ করো যে HI একটি তীব্র একক্ষারী অ্যাসিড। (ii) হাইড্রো আয়োডিক অ্যাসিড একটি বিজারক দ্রব্য—এই বক্তব্যের স্বপক্ষে যুক্তি ও উদাহরণ দাও। (iii) HI-এর জলীয় দ্রবণকে খোলা বাতাসের মধ্যে রাখলে বাদামি বর্ণ ধারণ করে কেন?

16. HF, HCl, HBr এবং HI-এর ধর্মের তুলনা করো।

17. (i) প্রমাণ করো পটাশিয়াম ক্লোরেটের মধ্যে Cl_2 আছে। (ii) KI এবং I_2-এর মিশ্রণ থেকে কীভাবে উপাদানগুলিকে পৃথক করবে? (iii) একটি বোতলে গুঁড়া লবণ আছে। লবণটি KCl, KBr, বা KI হতে পারে। তোমার কাছে গাঢ় H_2SO_4, টেস্ট টিউব ও বার্নার আছে। শুধু এইগুলি ব্যবহার করে কী করে লবণটিকে শনাক্ত করবে?

18. ইন্টার হ্যালোজেন যৌগ কাদের বলা হয়? উদাহরণ দিয়ে ব্যাখ্যা করো। ইন্টার হ্যালোজেন যৌগের 4টি বৈশিষ্ট্যের বিষয় লেখো।

[C] রচনাধর্মী প্রশ্ন ঃ

1. হ্যালোজেন মৌলগুলির সম্পর্কে নীচের বিষয়গুলি আলোচনা করো। (i) জারণ ক্ষমতা (ii) মৌলগুলির হাইড্রাইডের আম্লিক ধর্মের প্রবণতা (iii) হাইড্রাইডগুলির আয়নীয় প্রকৃতি।

2. ফ্লুওরিন, ক্লোরিন, ব্রোমিন ও আয়োডিনের হাইড্রাসিড গুলির মধ্যে (a) কোনটি সবচেয়ে মৃদু অ্যাসিড (b) কোনটির বিজারণ ক্ষমতা বেশি (c) কোনটির বন্ধনশক্তি সবচেয়ে দুর্বল? কারণ—ব্যাখ্যা করো।

3. হাইড্রোআয়োডিক অ্যাসিড, হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের চেয়ে বেশি তীব্র কেন ব্যাখ্যা করো।

4. কীভাবে প্রস্তুত করবে সংক্ষেপে বলো—(a) CaF_2 থেকে HF, (b) সমুদ্রজল থেকে ব্রোমিন, (c) $NaIO_3$ থেকে আয়োডিন, NaBr থেকে HBr।

5. ফ্লুওরিন, ক্লোরিন, ব্রোমিন ও আয়োডিনের প্রধান ব্যবহারগুলি উল্লেখ করো।

[D] নৈর্ব্যক্তিক প্রশ্ন ঃ

সঠিক উত্তরটি নির্বাচন করো—

(i) সবচেয়ে বেশি ইলেকট্রো নেগেটিভ মৌলের সর্ববহিঃস্থ কক্ষের ইলেকট্রন বিন্যাস—(a) ns^2np^6 (b) ns^2np^4, (c) ns^2np^2, (d) ns^2np^5 **[Ans. (d)]**

(ii) নীচের মধ্যে কোন্ হ্যালোজেনটির কেবলমাত্র একটি জারণ অবস্থা (+1) হয়?—(a) ফ্লুওরিন (b) ব্রোমিন (c) আয়োডিন (d) ক্লোরিন। **[Ans. (a)]**

(iii) ক্লোরিনের বিরঞ্জন ক্ষমতা প্রকাশ পায়—(a) শুষ্ক বায়ুতে (b) সূর্যালোকে (c) জলীয় বাষ্পের উপস্থিতি (d) বিশুদ্ধ O_2-এর মধ্যে **[Ans. (c)]**

(iv) KI দ্রবণে আয়োডিন দ্রবীভূত হয়— (a) I^+ রূপে (b) I^- রূপে (c) I^-_3 রূপে (d) I^-_2 রূপে **[Ans. (c)]**

(v) নীচের কোনটির মধ্যে বন্ধন শক্তি সবচেয়ে বেশি? (a) F—F, (b) Cl—Cl, (c) Br—Br, (d) I—I. **[Ans. (a)]**

(vi) KBr-এর জলীয় দ্রবণ থেকে Br_2 মুক্তহয়—(a) I_2 দ্রবণ দ্বারা (b) Cl_2 জল দ্বারা (c) NaCl দ্রবণ দ্বারা (d) KI দ্রবণ দ্বারা। **[Ans. (b)]**

(vii) সবচেয়ে মৃদু অ্যাসিড হল— (a) HF, (b) HCl, (c) HI, (d) HBr. **[Ans. (a)]**

(viii) নীচের কোনটি তাপে সবচেয়ে সুস্থিত?— (a) HCl, (b) HOCl, (c) HI, (d) HBr **[Ans. (a)]**

(ix) কোনটির সবচেয়ে বেশি বিজারণ ক্ষমতা আছে? (a) Cl_2 (b) I_2 (c) Cl^- আয়ন (d) I^- আয়ন **[Ans. (d)]**

(x) HBr এবং HI, H_2SO_4-কে বিজারিত করে, HCl, $KMnO_4$-কে বিজারিত করে, HF-কে বিজারিত করে—(a) H_2SO_4, (b) $KMnO_4$, (c) $K_2Cr_2O_7$, (d) কোনটিকে নয়। **[Ans. (d)]**

(xi) নীচের কোনটি সবচেয়ে তীব্র অ্যাসিড? (a) HF, (b) HBr, (c) HCl, (d) HI. **[Ans. (d)]**

(xii) নীচের কোনটি সবচেয়ে তীব্র অ্যাসিড? (a) $ClO_3(OH)$ (b) $ClO_2(OH)$ (c) $SO(OH)_2$ (d) $SO_2(OH)_2$ **[Ans. (a)]**

(xiii) HF থেকে HI পর্যন্ত নীচের দিকে গেলে নীচের কোন্ ধর্মটির হ্রাসের প্রবণতা আছে? (a) ধ্রবীয়তা (b) স্ফুটনাঙ্ক (c) বন্ধন দৈর্ঘ্য (d) তাপীয় স্থায়িত্ব। **[Ans. (a) (d)]**

(xiv) ঘরের উষ্ণতা ও চাপে নীচের কোন্ হ্যালোজেনগুলি গ্যাসীয় নয়? (a) F_2 (b) Cl_2 (c) Br_2 (d) I_2 **[Ans. (c) (d)]**

(xv) নীচের অক্সিঅ্যাসিডের মধ্যে কোনটিতে Cl এর জারণ সংখ্যা +5 দেখায়? (a) HClO, (b) $HClO_2$, (c) $HClO_3$, (d) $HClO_4$ **[Ans. (c)]**

2  ধাতুর রসায়ন [Chemistry of Metals]

2.1. প্রকৃতির মধ্যে ধাতুর অবস্থান [Occurrence of metals in nature]

বেশির ভাগ ধাতুকে প্রকৃতির মধ্যে অধাতব মৌলের সঙ্গে যুক্ত থাকা অবস্থায় অর্থাৎ যৌগরূপে পাওয়া যায়। এই ধাতুগুলি প্রকৃতির মধ্যে সাধারণত অক্সাইড, কার্বনেট, সালফাইড, সালফেট, ফসফেট, নাইট্রেট, হ্যালাইড, সিলিকেট ইত্যাদি রূপে অবস্থান করে।

K
Ca
Na
Mg
Al

(a) তড়িৎ-রাসায়নিক শ্রেণির উপরের দিকে অবস্থিত ধাতুগুলির প্রমাণ জারণ বিভব বেশি, তাই ধাতুগুলি তীব্র পজিটিভ তড়িৎধর্মী, সুতরাং **খুব সক্রিয়**। যেমন, K, Ca, Na, Mg, Al। এরা সহজেই বাতাসের O_2, জলীয় বাষ্প, CO_2 প্রভৃতির সঙ্গে বিক্রিয়া করে। সেইজন্য **এই ধাতুগুলিকে কখনো মুক্ত অবস্থায় প্রকৃতির মধ্যে পাওয়া যায় না**। প্রকৃতির মধ্যে এদের যৌগরূপে পাওয়া যায়। **এদের অক্সাইডগুলি বেশ স্থায়ী।**

(b) তড়িৎ রাসায়নিক শ্রেণির মাঝামাঝি স্থানে অবস্থিত ধাতুগুলির (যেমন, Zn, Fe, Sn, Pb, Cu) **জারণ** বিভব অপেক্ষাকৃত কম বলে এই ধাতুগুলি অপেক্ষাকৃত কম ইলেকট্রোপজিটিভ, তাই অপেক্ষাকৃত কম সক্রিয়, কারণ এই ধাতুগুলির **ইলেকট্রন বর্জনের প্রবণতা কিছু কম**। এই রকম ধাতুগুলিকেও মুক্ত অবস্থায় (Cu ছাড়া) **প্রকৃতির মধ্যে পাওয়া যায় না। সাধারণত অক্সাইড, কার্বনেট এবং সালফাইড যৌগরূপে প্রকৃতির মধ্যে এদের পাওয়া যায়।** এদের অক্সাইডগুলি অপেক্ষাকৃত কম স্থায়ী।

Zn
Fe
Sn
Pb
Cu

(c) তড়িৎ-রাসায়নিক শ্রেণির সবচেয়ে নীচের দিকে অবস্থিত ধাতুগুলির (যেমন—Cu, Hg, Ag, Au ইত্যাদি) **প্রমাণ জারণ** বিভব হাইড্রোজেনের চেয়েও কম। তাই এদের পরমাণুর ইলেকট্রন বর্জনের প্রবণতা খুব কম, তাই এরা সক্রিয় নয়, O_2, জলীয় বাষ্প ইত্যাদি দ্বারা সহজে আক্রান্ত হয় না। এদের মধ্যে Cu এবং Hg অপেক্ষাকৃত কম নিষ্ক্রিয়, তাই প্রকৃতির মধ্যে এদের খুব সামান্য পরিমাণে মুক্ত অবস্থায় পাওয়া গেলেও যৌগরূপেই এদের বেশি পাওয়া যায়। সিলভারকে বেশির ভাগ মুক্ত অবস্থায় পাওয়া গেলেও, ধাতুটিকে সালফাইডরূপে পাওয়া যায়। গোল্ড এবং প্ল্যাটিনামকে মুক্ত অবস্থায় প্রকৃতির মধ্যে পাওয়া যায়।

Cu
Hg
Ag
Au

● **খনিজ পদার্থ এবং আকরিক** (Minerals and ores) **:**

(1) খনিজ পদার্থ (Minerals) **:** কয়েকটি ধাতুকে প্রকৃতির মধ্যে মুক্ত অবস্থায় পাওয়া গেলেও বেশির ভাগ ধাতুকেই ওদের যৌগরূপে প্রকৃতির মধ্যে পাওয়া যায়। সাধারণত অক্সাইড, কার্বনেট, সালফাইড, সালফেট, হ্যালাইড, নাইট্রেট, সিলিকেট প্রভৃতি যৌগরূপে এদের পাওয়া যায়।

সংজ্ঞা : প্রকৃতির মধ্যে বিভিন্ন ধাতব যৌগকে পাথরের মতো কঠিন অবস্থায় কখনো ভূগর্ভের নীচে, কখনও বা ভূপৃষ্ঠের উপরে পাওয়া যায়। এইসব প্রকৃতিজাত অজৈব পদার্থগুলিকে খনিজ (Mineral) বলা হয়।

প্রকৃতিজাত এই পাথরগুলির **রাসায়নিক উপাদান নির্দিষ্ট থাকে**। যেমন, **বক্সাইট** পাথরে সোদক অ্যালুমিনিয়াম অক্সাইড থাকে (Al_2O_3, $2H_2O$)। **হেমাটাইটের** মধ্যে Fe_2O_3 থাকবেই। খনিজের মধ্যে একাধিক যৌগ অনেক সময় বর্তমান থাকে। যেমন, **কার্নালাইট** (KCl, $MgCl_2$, $6H_2O$), **ক্রাইওলাইট** (AlF_3, 3NaF) ইত্যাদি। **খনিজ পদার্থের মধ্যে আসল বস্তুটি ছাড়াও অন্যান্য অপ্রয়োজনীয় পদার্থ; যেমন—মাটি, বালি, কাদা ইত্যাদি মেশানো থাকে। এইসব অপদ্রব্যকে খনিজ-মল (Gangue) বলে।** খনিজের মধ্যে আসল বস্তুর চেয়ে খনিজ-মলের পরিমাণ বেশি।

(2) আকরিক (Ores) **:**

সংজ্ঞা : প্রকৃতির মধ্যে অবস্থিত প্রকৃতিজাত খনিজ পদার্থ, যা থেকে সহজ উপায়ে এবং সুলভে উচ্চমানের ধাতু নিষ্কাশন করা যায়, তাকে আকরিক বলে।

সব খনিজ থেকে ধাতু নিষ্কাশন করা সম্ভব নয়। অনেক সময় দেখা গেছে, কয়েকটি খনিজ থেকে ধাতু নিষ্কাশন করা সম্ভব হলেও নিষ্কাশন পদ্ধতি খুব জটিল এবং ব্যয়সাপেক্ষ; যেমন অ্যালুমিনিয়ামের অনেক রকম যৌগ প্রকৃতির মধ্যে পাওয়া যায়। এমনকি, কাদার মধ্যেও অ্যালুমিনিয়াম যৌগ যথেষ্ট থাকে। কিন্তু **বক্সাইট** (Al_2O_3, $2H_2O$) এবং **ক্রাইওলাইট** (AlF_3, 3NaF) থেকে অ্যালুমিনিয়াম ধাতু নিষ্কাশন করা যায় খুব সহজ উপায়ে এবং সুলভে; তাই বক্সাইট হল Al-এর আকরিক। **হেমাটাইট** (Fe_2O_3)

হল একটি খনিজ, যা থেকে সহজ পদ্ধতিতে এবং সুলভে উচ্চমানের আয়রন নিষ্কাশন করা যায়। সুতরাং হেমাটাইট খনিজটি হল আয়রনের একটি আকরিক। আবার **আয়রন পাইরাইটিস** (FeS_2) হল আয়রনের একটি খনিজ—এর মধ্যে আয়রনের পরিমাণ বেশি থাকলেও আয়রন পাইরাইটিস থেকে সহজ এবং সুলভ পদ্ধতিতে উচ্চমানের আয়রন নিষ্কাশন করা যায় না। তাই আয়রন পাইরাইটিস আয়রনের খনিজ হলেও আয়রনের আকরিক নয়।

সুতরাং বলা যায়, **সব আকরিকই খনিজ পদার্থ, কিন্তু সব খনিজ পদার্থকে রাসায়নিক পরিভাষায় আকরিক বলা যায় না।**

● **খনিজ মল** (Gangue) ঃ

খনিজ পদার্থকে মাটির মধ্যে, ভূগর্ভে পাওয়া যায়। তাই খনিজ পদার্থের মধ্যে অর্থাৎ আকরিকের মধ্যে ধাতব যৌগটি ছাড়াও অন্যান্য অপ্রয়োজনীয় পদার্থ; যেমন—বালি, মাটি, কাদা এবং অন্যান্য অনেক অপদ্রব্য মেশানো থাকে।

আকরিকের মধ্যে আসল ধাতব পদার্থের সঙ্গে মিশ্রিত অপ্রয়োজনীয় পদার্থগুলিকে খনিজ-মল (Gangue) **বলে।** আকরিকের মধ্যে আসল ধাতব অংশের চেয়ে খনিজ-মলের পরিমাণ অনেক বেশি থাকে।

আকরিকের মধ্যে উপস্থিত খনিজ-মলের পরিমাণ ও প্রকৃতি, প্রকৃতির মধ্যে আকরিকের অবস্থান ও পারিপার্শ্বিক অবস্থার উপর নির্ভর করে। যেমন, কপার পাইরাইটিস আকরিকের (Cu_2S, Fe_2S_3) মধ্যে শতকরা 4 থেকে 5 ভাগ মাত্র কপার থাকে।

নীচে কতকগুলি ধাতুর আকরিকের নাম এবং উপাদান দেওয়া হল—

যৌগ	ধাতু	আকরিকের নাম এবং সংকেত		
অক্সাইডরূপে	অ্যালুমিনিয়াম	বক্সাইট	(Bauxite)	(Al_2O_3, $2H_2O$)
	আয়রন	হেমাটাইট	(Haematite)	(Fe_2O_3), ম্যাগনেটাইট (Fe_3O_4)
	কপার	কিউপ্রাইট	(Cuprite)	(Cu_2O)
কার্বনেটরূপে	ম্যাগনেশিয়াম	ম্যাগনেসাইট	(Magnesite)	($MgCO_3$)
	ক্যালশিয়াম	লাইমস্টোন	(Limestone)	($CaCO_3$)
	জিঙ্ক	ক্যালামাইন	(Calamine)	($ZnCO_3$)
ফসফেটরূপে	ক্যালশিয়াম	ফসফোরাইট	(Phosphorite)	[$Ca_3(PO_4)_2$]
সালফাইডরূপে	কপার	কপার পাইরাইটিস	(Copper pyrites)	(Cu_2S, Fe_2S_3)
	সিলভার	সিলভার গ্লান্স	(Silver glance)	(Ag_2S)
	জিঙ্ক	জিঙ্ক ব্লেন্ড	(Zinc blende)	(ZnS)
সালফেটরূপে	ক্যালশিয়াম	জিপসাম	(Gypsum)	($CaSO_4$, $2H_2O$)
নাইট্রেটরূপে	সোডিয়াম	চিলি সল্টপিটার	(Chile saltpetre)	($NaNO_3$)
	পটাশিয়াম	নাইটার	(Nitre)	(KNO_3)
হ্যালাইডরূপে	ম্যাগনেশিয়াম	কার্নালাইট	(Carnallite)	($MgCl_2$, KCl, $6H_2O$)
	ক্যালশিয়াম	ফ্লুওস্পার	(Fluospar)	(CaF_2)
	অ্যালুমিনিয়াম	ক্রাইওলাইট	(Cryolite)	(AlF_3, 3NaF)

2.2. ধাতুবিদ্যা—আকরিক থেকে ধাতু নিষ্কাশনের কয়েকটি প্রক্রিয়া [Metallurgy—different operation employed in the extraction of metals]

আকরিক থেকে সহজ উপায়ে এবং সুলভে ধাতু নিষ্কাশন করা এবং বিশুদ্ধ করার প্রক্রিয়াকে **ধাতুবিদ্যা** (Metallurgy) বলে।

তড়িৎ রাসায়নিক শ্রেণির মাঝামাঝি জায়গায় অবস্থান করে এমন ধাতুগুলির (Zn, Fe, Pb, Sn, Cu) অক্সাইড, হাইড্রক্সাইড, কার্বনেট, সালফাইড প্রভৃতি আকরিক থেকে ধাতু নিষ্কাশনের সময় কতকগুলি প্রক্রিয়ার সাহায্য নিতে হয়।

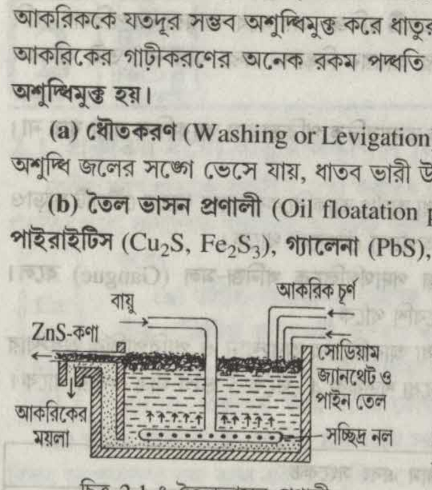
প্রথমে কয়েকটি প্রক্রিয়ার সাহায্যে আকরিক থেকে খনিজ-মলগুলিকে যথাসম্ভব দূর করে আকরিকের মধ্যস্থ ধাতব যৌগটিকে এমন একটি যৌগে পরিণত করা হয় যা সহজেই বিজারিত হয়ে ধাতুতে পরিণত হয়। বিভিন্ন প্রক্রিয়াগুলির বর্ণনা নীচে পরপর দেওয়া হল।

(1) চূর্ণীকরণ (Crushing) ঃ প্রকৃতি থেকে প্রাপ্ত বিভিন্ন ধাতুর আকরিকগুলিকে বড়ো বড়ো শিলার আকারে পাওয়া যায়। প্রথমে যন্ত্রের সাহায্যে আকরিক শিলাগুলিকে টুকরো টুকরো করে পেষণ যন্ত্রে (যেমন বল মেশিন) ওদের সূক্ষ্ম চূর্ণে পরিণত করা হয়।

(2) আকরিকের গাঢ়ীকরণ (Concentration) ঃ ধাতুর আকরিকের সঙ্গে অনেক **অশুদ্ধি** থাকে। তাই নানা প্রক্রিয়ার সাহায্যে আকরিককে যতদূর সম্ভব অশুদ্ধিমুক্ত করে ধাতুর পরিমাণ বাড়ানো হয়। এইজন্য অশুদ্ধি দূর করার প্রক্রিয়াকে **গাঢ়ীকরণ** বলে। আকরিকের গাঢ়ীকরণের অনেক রকম পদ্ধতি আছে। **গাঢ়ীকরণের ফলে ধাতু নিষ্কাশনের খরচ কমে যায় এবং ধাতুটিও অশুদ্ধিমুক্ত হয়।**

(a) ধৌতকরণ (Washing or Levigation) ঃ চূর্ণ আকরিককে জলপ্রবাহে ধৌত করা হয়, এর ফলে বালি ও অন্যান্য হালকা অশুদ্ধি জলের সঙ্গে ভেসে যায়, ধাতব ভারী উপাদানগুলি নীচে থিতিয়ে পড়ে।

(b) তৈল ভাসন প্রণালী (Oil floatation process) ঃ এই পদ্ধতিতে বিশেষ করে **সালফাইড আকরিক;** যেমন—**কপার পাইরাইটিস** (Cu_2S, Fe_2S_3), **গ্যালেনা** (PbS), **জিঙ্কব্লেন্ড** (ZnS) **প্রভৃতি আকরিকগুলিকে গাঢ় করা হয়।** এই পদ্ধতি দ্বারা আকরিকের মধ্যস্থ বালি, মাটি প্রভৃতি অশুদ্ধিগুলিকে সহজ উপায়ে পৃথক করা যায়। বড়ো বড়ো জলপূর্ণ চৌবাচ্চায় আকরিকচূর্ণ মেশানো হয়, তারপর ওই মিশ্রণে **সামান্য খনিজ অ্যাসিড, পাইন তেল এবং সোডিয়াম জ্যানথেট** মিশিয়ে ওই মিশ্রণের মধ্য দিয়ে বায়ুপ্রবাহ চালনা করে মিশ্রণটিকে আলোড়িত করা হয়। তেল ও জলের মিশ্রণের ফলে প্রচুর ফেনা উৎপন্ন হয়। তল-টানের পার্থক্যের জন্য আকরিকের আসল বস্তুটি, বিশেষ করে ধাতব সালফাইডের সূক্ষ্ম কণাগুলি পাইন তেলে সিক্ত হয়ে ফেনার গায়ে লেগে ওপরে ভেসে ওঠে, কিন্তু মাটি, বালি ইত্যাদি অশুদ্ধগুলি জল দ্বারা সিক্ত হওয়ার ফলে ভারী হয়ে জলের নীচে থিতিয়ে পড়ে। ফেনাগুলি সংগ্রহ করে শুষ্ক করলে গাঢ়ীকৃত আকরিক পাওয়া যায়।



চিত্র 2.1 ঃ তৈলভাসন প্রণালী

(c) চৌম্বকক্ষেত্রের সাহায্যে পৃথকীকরণ (Magnetic separation) ঃ আয়রনের মতো চৌম্বক পদার্থ আকরিকের মধ্যে বর্তমান থাকলে চূর্ণ আকরিককে একটি জোরালো চৌম্বকক্ষেত্রের ভিতর দিয়ে চালনা করলে চৌম্বক পদার্থকে চুম্বক আকর্ষণ করে পৃথক করে। যেমন, টিনের আকরিক টিন স্টোনের মধ্যে উলফ্রেমাইট (চৌম্বক পদার্থ) (Wolframite, $FeWO_4$) অশুদ্ধি হিসাবে বর্তমান থাকে। টিনের ওপর চুম্বকের কোনো প্রভাব নেই, কিন্তু অপরটির ওপর আছে। একটি যন্ত্রের এক প্রান্তে বড়ো একটি চুম্বক ঘুরতে থাকে। এর সঙ্গে মোটা কাপড়ের বেল্ট ঘুরতে থাকে। বেল্টটির ওপর চূর্ণ আকরিক ছেড়ে দিলে, আকরিকচূর্ণ শেষ প্রান্তে এসে দু'ভাগ হয়ে যায়। লৌহঘটিত আকরিক চুম্বকের আকর্ষণে চুম্বকের কাছাকাছি জায়গায় গিয়ে পড়ে, কিন্তু টিনের আকরিক কিছুটা দূরে গিয়ে জমতে থাকে।



চিত্র 2.2 ঃ চুম্বকের সাহায্যে আকরিকের গাঢ়ীকরণ

(3) ধাতু নিষ্কাশন (Extraction of metals) ঃ গাঢ়ীকরণ প্রক্রিয়ার সাহায্যে আকরিকের মধ্যস্থ অশুদ্ধিগুলিকে অনেকটা দূর করে, সেই গাঢ়ীকৃত আকরিক থেকে ধাতু নিষ্কাশনের জন্য বিভিন্ন প্রক্রিয়ার সাহায্য নেওয়া হয়; যেমন—**(i) ভস্মীকরণ** (Calcination), **(ii) তাপজারণ** (Roasting), **(iii) বিগলন** (Smelting) এবং **(iv) ধাতুর বিশোধন** (Refining)।

(a) ভস্মীকরণ (Calcination) ঃ গাঢ়ীকৃত আকরিককে না গলিয়ে বায়ুর উপস্থিতিতে এমন তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করা হয়, যাতে করে আকরিকের মধ্যের যেসব উদ্‌বায়ী অশুদ্ধিগুলি থাকে সেইগুলি দূর হয়। পরাবর্ত চুল্লির মধ্যে এই প্রক্রিয়া সম্পাদন করা হয়।

সংজ্ঞা ঃ **গাঢ়ীকৃত আকরিককে পরাবর্ত চুল্লি** (Reverberatory furnace) **বা অন্য কোনো উপযুক্ত চুল্লির মধ্যে রেখে, আকরিকটির গলনাঙ্কের কম উষ্ণতায় বায়ুপ্রবাহের উপস্থিতিতে উত্তপ্ত করে আকরিকের মধ্যস্থ উদ্‌বায়ী অপদ্রব্য; যেমন—জলীয় বাষ্প, সালফার, আর্সেনিক ইত্যাদিকে দূর করার প্রক্রিয়াকে ভস্মীকরণ বলে।**

এই প্রক্রিয়ার ফলে— **(i)** আকরিকের মধ্যস্থ উদ্‌বায়ী পদার্থ—যেমন **জলীয় বাষ্প, কার্বন ডাইঅক্সাইড, মুক্ত সালফার বা আর্সেনিক ইত্যাদি উদ্‌বায়ী অক্সাইডরূপে অপসারিত হয়।**

(ii) এই প্রক্রিয়ায় কার্বনেট আকরিক অক্সাইডে পরিণত হয় এবং CO_2 মুক্ত হয়। এর ফলে আকরিকের মধ্যে ধাতুর আনুপাতিক পরিমাণ বেড়ে যায়। $MCO_3 \longrightarrow MO + CO_2\uparrow$

(iii) অনেক সময় এই প্রক্রিয়ায় **আকরিকের মধ্যস্থ নিম্ন যোজ্যতার অক্সাইড উচ্চ যোজ্যতার অক্সাইডে পরিণত হয়।** যেমন স্প্যাথিক আয়রন আকরিক ($FeCO_3$) ভস্মীকরণ দ্বারা CO_2 মুক্ত হয়ে ফেরাস অক্সাইডে পরিণত হয় যা পরে বাতাসের O_2 দ্বারা জারিত হয়ে ফেরিক অক্সাইডে পরিণত হয়।

$$\underset{\text{স্প্যাথিক আয়রন আকরিক}}{FeCO_3} \xrightarrow{\text{তাপ জারণ}} FeO + CO_2\uparrow \qquad 4FeO + O_2\ (\text{বাতাস}) \longrightarrow 2Fe_2O_3$$

(iv) আকরিক থেকে গ্যাসীয় পদার্থ এবং জলীয় বাষ্প বেরিয়ে যাওয়ার ফলে আকরিকগুলি **সচ্ছিদ্র ও ফাঁপা হয়ে যায়,** ফলে পরের বিজারণ প্রক্রিয়া খুব সহজে এবং সম্পূর্ণভাবে সম্পন্ন হয়। **কার্বনেট আকরিকের জন্য ভস্মীকরণ প্রক্রিয়া সবচেয়ে উপযোগী।**

(b) তাপজারণ (Roasting) ঃ গাঢ়ীকৃত বিচূর্ণ আকরিককে ভস্মীকরণ প্রক্রিয়ার চেয়ে বেশি উষ্ণতায় কিন্তু আকরিকের গলনাঙ্কের চেয়ে কম উষ্ণতায় অতিরিক্ত বায়ুপ্রবাহে উত্তপ্ত করে জারিত করার পদ্ধতিকে তাপজারণ প্রক্রিয়া বলে।

এই প্রক্রিয়াটি সাধারণত সালফাইড আকরিকের (যেমন—জিঙ্ক ব্লেন্ড ZnS, কপার পাইরাইটিস Cu_2S, Fe_2S_3) ক্ষেত্রে প্রযোজ্য। সাধারণত পরাবর্ত চুল্লির মধ্যে এই প্রক্রিয়া সম্পন্ন করা হয়।



চিত্র 2.3 ঃ পরাবর্ত চুল্লি

তাপজারণ প্রক্রিয়ায়—

(i) আকরিকের মধ্যস্থ মুক্ত সালফার, আর্সেনিক প্রভৃতি উদ্‌বায়ী অক্সাইডে পরিণত হয়ে দূর হয়।

(ii) আকরিকের মধ্যস্থ জলীয় বাষ্প, কার্বন ডাই-অক্সাইড অপসারিত হয়।

(iii) সালফাইড আকরিকগুলি বায়ুর অক্সিজেন দ্বারা জারিত হয়ে আংশিক বা সম্পূর্ণরূপে ধাতব অক্সাইডে পরিণত হয়।

$$2ZnS + 3O_2 = 2ZnO + 2SO_2\uparrow \quad ; \quad 2PbS + 3O_2 = 2PbO + 2SO_2\uparrow$$

—এই প্রক্রিয়ায় SO_2 নির্গত হয়।

(iv) নিম্ন যোজ্যতার অক্সাইডগুলি বায়ুর অক্সিজেন দ্বারা জারিত হয়ে উচ্চ যোজ্যতার অক্সাইডে পরিণত হয়।

$$4FeO + O_2\ (\text{বায়ু}) = 2Fe_2O_3$$

(v) জলীয় বাষ্প, CO_2, SO_2 প্রভৃতি উদ্‌বায়ী পদার্থগুলি বেরিয়ে যাওয়ার ফলে আকরিকগুলি সচ্ছিদ্র এবং ঝাঁঝরাবিশিষ্ট হয়, যার ফলে পরের বিজারণ প্রক্রিয়ায় এই তাপজারিত আকরিক সম্পূর্ণভাবে বিজারিত হয়ে ধাতু উৎপন্ন করে। **সালফাইড আকরিকের ভস্মীকরণ করা হয় না—তাপজারণ করা হয় কারণ তাপজারণের ফলে সালফাইড আকরিক অক্সাইডে পরিণত হয়।**

● ভস্মীকরণ এবং তাপজারণ প্রক্রিয়ার তুলনা ঃ

(i) গাঢ়ীকৃত বিচূর্ণ আকরিককে উপযুক্ত চুল্লির মধ্যে ওর গলনাঙ্কের কম উষ্ণতায় বায়ু প্রবাহের উপস্থিতিতে উত্তপ্ত করে আকরিকের মধ্যস্থ উদ্‌বায়ী অপদ্রব্যগুলিকে দূর করার প্রক্রিয়া হল ভস্মীকরণ।

গাঢ়ীকৃত আকরিককে ভস্মীকরণ প্রক্রিয়ার চেয়ে বেশি উষ্ণতায় কিন্তু ওর গলনাঙ্কের কম উষ্ণতায় অতিরিক্ত বায়ু প্রবাহে উত্তপ্ত করে আকরিককে জারিত করার পদ্ধতিকে তাপজারণ বলে।

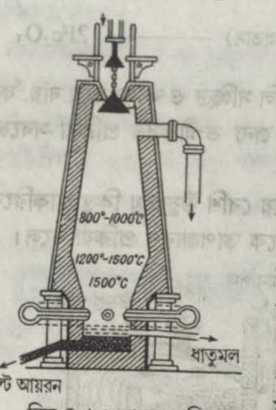
(ii) ভস্মীকরণে কার্বনেট আকরিক অক্সাইডে পরিণত হয়, কিন্তু তাপজারণ সাধারণত সালফাইড আকরিকের ক্ষেত্রে প্রয়োগ করা হয়। তাপজারণের ফলে গাঢ়ীকৃত সালফাইড আকরিক আংশিক বা সম্পূর্ণভাবে জারিত হয়ে অক্সাইডে পরিণত হয়।

(c) বিগলন (Smelting) ঃ তাপজারিত অথবা ভস্মীকৃত আকরিককে উপযুক্ত বিজারক (যেমন—কোক) এবং উপযুক্ত বিগালকের সঙ্গে মিশিয়ে বিশেষ চুল্লি, যেমন—মারুৎ চুল্লির মধ্যে তীব্র এবং উত্তপ্ত ও শুষ্ক বায়ুপ্রবাহের উপস্থিতিতে উচ্চ উষ্ণতায় গলানোর পদ্ধতিকে বিগলন প্রক্রিয়া বলে।

বিগলন প্রক্রিয়ার মূল উদ্দেশ্য হল ভস্মীকরণ বা তাপজারণের ফলে উৎপন্ন ধাতব অক্সাইডকে গলিয়ে কোনো উপযুক্ত বিজারকের সাহায্যে ওই অক্সাইডকে বিজারিত করে ধাতুতে পরিণত করা। সচ্ছিদ্র এবং ঝাঁঝরাবিশিষ্ট ধাতব অক্সাইডগুলি বিগলনের বিশেষ উপযোগী। অক্সাইড আকরিক এবং যে আকরিকগুলি সহজে ধাতব অক্সাইডে পরিণত হয়, সেই আকরিকগুলি বিগলনের উপযোগী। বিগলন দ্বারা ধাতু নিষ্কাশনে সালফাইড আকরিক উপযুক্ত নয়, তাই সালফাইড আকরিককে তাপজারিত করে প্রথমে অক্সাইডে পরিণত করার পর বিজারক মিশিয়ে বিগলন করা হয়। বিগলনে বেশির ভাগ ক্ষেত্রে কোক বিজারক দ্রব্যরূপে

ব্যবহৃত হয়। কোক নিজে বা কোকের অসম্পূর্ণ দহনে উৎপন্ন কার্বন মনোক্সাইড ধাতব অক্সাইডগুলিকে বিজারিত করে ধাতু উৎপন্ন করে।

বিগলনের সময় উচ্চ উষ্ণতায় তাপজারিত আকরিকের মধ্যস্থ খনিজমল; যেমন—বালি, মাটি, কাদা ইত্যাদি বিগালকের সঙ্গে যুক্ত হয়ে ধাতুমল উৎপন্ন করে ধাতু থেকে পৃথক হয়। উচ্চ উষ্ণতায় উৎপন্ন ধাতু ও ধাতুমল গলে যায় এবং গলিত অবস্থায় চুল্লির নীচে দুটি পৃথক স্তরে জমা হয়। ধাতু ভারী বলে নীচের স্তরে থাকে। এখান থেকে সহজে গলিত ধাতুকে বের করে নেওয়া হয়।



চিত্র 2.4 ঃ মারুত চুল্লি

যেমন হেমাটাইট (Fe_2O_3) আকরিকের সঙ্গে SiO_2 খনিজমলরূপে বর্তমান থাকে। এখন এর সঙ্গে কোক এবং চুনাপাথর (বিগালক, flux) যোগ করে ব্লাস্ট ফার্নেসে উচ্চ উষ্ণতায় উত্তপ্ত করলে হেমাটাইট (Fe_2O_3) কোক দ্বারা বিজারিত হয়ে ধাতব Fe উৎপন্ন করে। এদিকে SiO_2 (খনিজমল) চুনাপাথর থেকে উৎপন্ন CaO-এর সঙ্গে যুক্ত হয়ে Fe থেকে মুক্ত হয়ে ক্যালশিয়াম সিলিকেট অর্থাৎ ধাতু-মলে (Slag) পরিণত হয়। গলিত ধাতু-মল এবং গলিত Fe চুল্লির নীচে দুটি পৃথক স্তরে জমা হয়—ওদের পৃথক করে নেওয়া হয়।

[বিগলন প্রক্রিয়ায় অবশ্য সবসময় ধাতু উৎপন্ন হয় না। কপার পাইরাইটিস আকরিক থেকে কপার ধাতুর নিষ্কাশনে বিগলন প্রক্রিয়ার সাহায্যে তাপ জারিত আকরিক থেকে আয়রনকে অপসারিত করে ম্যাট প্রস্তুত করা হয়।]

● **বিগালক ও ধাতুমল** (Flux and Slag) ঃ

আকরিকের মধ্যে নানারকম অপ্রয়োজনীয় পদার্থ উপস্থিত থাকে, আকরিকের মধ্যে উপস্থিত এই অপ্রয়োজনীয় পদার্থগুলিকে খনিজমল বলা হয়। আকরিকের গাঢ়ীকরণ, ভস্মীকরণ, তাপজারণ প্রক্রিয়ার পরও আকরিকের মধ্যে কিছু পরিমাণ খনিজমল থেকে যায়। এই অশুদ্ধিগুলি **বিগলন প্রক্রিয়ায় চুল্লির উচ্চ উষ্ণতায় আলাদাভাবে গলে না**। এর ফলে বিগলন প্রক্রিয়ার সময় উৎপন্ন গলিত ধাতু থেকে এদের পৃথক করা সম্ভব হয় না। তাই খনিজমলকে উৎপন্ন গলিত ধাতু থেকে পৃথক করার জন্য, বিগলনের সময় তাপজারিত আকরিকের সঙ্গে অন্য কোনো পদার্থ নির্বাচন করে যোগ করা হয়। চুল্লির উচ্চ উষ্ণতায় আকরিকের খনিজমলগুলি ওই নির্বাচিত অতিরিক্ত পদার্থের সঙ্গে রাসায়নিক বিক্রিয়া দ্বারা যুক্ত হয়ে যৌগিক পদার্থ উৎপন্ন করে, যা উচ্চ উষ্ণতায় গলে যায় এবং গলিত ধাতুর চেয়ে হালকা বলে চুল্লির নীচের অংশে সঞ্চিত গলিত ধাতুর উপরে পৃথক স্তর গঠন করে ভাসতে থাকে। ফলে গলিত ধাতু থেকে সহজেই এদের পৃথক করে নেওয়া যায়। এই গলিত পদার্থকে **ধাতুমল** (slag) বলে। নির্বাচিত যে অতিরিক্ত পদার্থ আকরিকের সঙ্গে বিগলন প্রক্রিয়ায় যোগ করা হয়, তাকে **বিগালক** (flux) বলে। অর্থাৎ,

বিগালক (Flux) ঃ **ধাতু নিষ্কাশনের বিগলন প্রক্রিয়ার সময় তাপ-জারিত আকরিকের সঙ্গে যে নির্বাচিত রাসায়নিক পদার্থ যোগ করে রাসায়নিক বিক্রিয়া দ্বারা আকরিকের মধ্যস্থ খনিজমল বা অশুদ্ধিগুলিকে অন্য যৌগে পরিণত করে, গলিত অবস্থায় ধাতু থেকে পৃথক করা হয়, সেই পদার্থকে বিগালক বলে।**

ধাতুমল (Slag) ঃ **বিগালক এবং আকরিকের মধ্যস্থ খনিজমল রাসায়নিক বিক্রিয়া দ্বারা পরস্পর যুক্ত হয়ে যে গলনীয় পদার্থ উৎপন্ন হয় তাকে ধাতুমল বলে।**

বিগালক + **খনিজমল** = **ধাতুমল**

আকরিকের অশুদ্ধি বা খনিজমল দু'রকম হতে পারে—**(a) অ্যাসিডধর্মী**—যেমন **বালি, মাটি,** অর্থাৎ **সিলিকা** SiO_2। **(b) ক্ষারধর্মী**—যেমন **ফেরাস অক্সাইড** (FeO), **চুন** (CaO), MgO ইত্যাদি।

আকরিকের মধ্যস্থ খনিজমল বা অশুদ্ধিগুলির (gangue) প্রকৃতি অনুযায়ী বিগালক নির্বাচন করতে হয়।

(i) আকরিকের মধ্যে যদি অ্যাসিডধর্মী খনিজমল যেমন—সিলিকা বা অশুদ্ধিরূপে বর্তমান থাকে; তা হলে ওই অশুদ্ধি দূর করতে হলে **ক্ষারীয় বিগালক**; যেমন **লাইম** (CaO), **ম্যাগনেসাইট** (MgO) ইত্যাদি যোগ করা হয়। অ্যাসিডধর্মী খনিজমলের সঙ্গে এই ক্ষারীয় বিগালকগুলির বিক্রিয়ায় ধাতুমল উৎপন্ন হয়।

$$\underset{\text{আম্লিক খনিজমল}}{SiO_2} + \underset{\text{ক্ষারীয় বিগালক}}{CaO} \rightarrow \underset{\text{ধাতুমল}}{CaSiO_3}$$

উদাহরণ ঃ যেমন, হেমেটাইট (Fe_2O_3) থেকে আয়রন নিষ্কাশনের সময় তাপজারিত আকরিক থেকে খনিজমল SiO_2 দূর করার

জন্য বিগালক হিসাবে চুনাপাথর ($CaCO_3$) যোগ করে উচ্চ উষ্ণতায় গলানো হয়। এর ফলে উচ্চ উষ্ণতায় $CaCO_3$ বিয়োজিত হয়ে CaO উৎপন্ন করে, CaO আকরিকের মধ্যস্থ আম্লিক খনিজমল SiO_2-এর সঙ্গে যুক্ত হয়ে $CaSiO_3$ (ধাতুমল) (slag) উৎপন্ন করে গলিত আয়রন থেকে পৃথক হয়।

(ii) আকরিকের মধ্যে যদি ক্ষারধর্মী খনিজমল বর্তমান থাকে; যেমন—FeO, CaO বা MgO ইত্যাদি, তাহলে ওই অশুদ্ধি দূর করতে হলে আম্লিক বিগালক; যেমন SiO_2 যোগ করে উচ্চ উষ্ণতায় গলানো হয়। এর ফলে ক্ষারীয় অশুদ্ধির সঙ্গে অ্যাসিডধর্মী বিগালকের (যেমন SiO_2) বিক্রিয়ায় ধাতুমল উৎপন্ন হয়।

উদাহরণ ঃ কপারের আকরিকের মধ্যে ক্ষারধর্মী FeO অশুদ্ধিরূপে বর্তমান থাকে—একে দূর করতে হলে বিগালকরূপে অম্লধর্মী সিলিকা যোগ করে উচ্চ উষ্ণতায় গলানো হয়। এর ফলে ক্ষারধর্মী FeO, অ্যাসিডধর্মী বিগালক SiO_2-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে **ফেরাস সিলিকেট** ($FeSiO_3$) নামে ধাতুমল উৎপন্ন গলিত ম্যাট (Cu_2S) থেকে পৃথক হয়।

$$\underset{\text{ক্ষারীয় খনিজমল}}{FeO} + \underset{\text{অ্যাসিডধর্মী বিগালক}}{SiO_2} \rightarrow \underset{\text{ধাতুমল}}{FeSiO_3}$$

(iii) এইভাবে যে ধাতুমল উৎপন্ন হয় সেগুলি উচ্চ উষ্ণতায় গলে যায়। উৎপন্ন ধাতু এবং ধাতুমল উভয়ই গলিত অবস্থায় চুল্লির নীচে জমা হয়। যেহেতু গলিত ধাতুমল, গলিত ধাতুর চেয়ে হালকা এবং গলিত ধাতুর সঙ্গে মেশে না, তাই উৎপন্ন গলিত ধাতুর উপর ভেসে ওঠে। গলিত ধাতুর উপর ভেসে থাকা এই ধাতুমল ধাতুকে বায়ুর দ্বারা জারিত হওয়া থেকে রক্ষা করে। তাছাড়া গলিত ধাতুমল এবং গলিত ধাতু, দুটি পৃথক স্তরে থাকে বলে ওদের সহজেই পৃথক করা যায়।

যে সব ক্ষেত্রে বিগলনের সময় উৎপন্ন ধাতুকে বাষ্পীভূত করে সেই বাষ্পকে ঘনীভূত করে ধাতুটিকে সংগ্রহ করা হয় (যেমন জিঙ্কের ক্ষেত্রে) সেইসব ক্ষেত্রে বিগালক যোগ করার দরকার হয় না।

2.3. ধাতু-নিষ্কাশনের সাধারণ পদ্ধতি [General methods of extraction of metals]

আকরিক থেকে ধাতু নিষ্কাশন হল আসলে ধাতব যৌগের বিজারণ। এই বিজারণ ক্রিয়া উত্তপ্ত অবস্থায় কার্বন দ্বারা ঘটে অথবা তড়িদ্বিশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় ধাতব আয়নগুলি ক্যাথোডে ইলেকট্রন গ্রহণ করে বিজারিত হয় এবং ধাতুতে পরিণত হয়।

আকরিক থেকে ধাতু নিষ্কাশন করার জন্য প্রধানত দুটি পদ্ধতি প্রয়োগ করা হয়—

(A) তাপপ্রয়োগ পদ্ধতি ও (B) তড়িৎ-বিজারণ পদ্ধতি।

Mg
Zn
Fe
Pb
Cu

(A) তাপপ্রয়োগ পদ্ধতি (Application of heat) ঃ যেসব ধাতু তীব্র ইলেকট্রোপজিটিভ; যেমন, ক্ষারধাতু (Na, K ইত্যাদি) এবং ক্ষারীয় মৃত্তিকা ধাতু; যেমন, Ca এবং Al ছাড়া **তড়িৎ-রাসায়নিক শ্রেণিতে মাঝামাঝি অবস্থানের ধাতুগুলিকে;** যেমন— Zn, Fe, Pb, Cu প্রভৃতি ধাতুগুলিকে এই পদ্ধতি দ্বারা নিষ্কাশন করা হয়। এই ধাতুগুলিকে প্রধানত **অক্সাইড, সালফাইড, কার্বনেট, ক্লোরাইড,** ইত্যাদি যৌগরূপে প্রকৃতিতে আকরিকের মধ্যে পাওয়া যায়। সাধারণত অক্সাইড বা সালফাইড আকরিক থেকে তাপ প্রয়োগ পদ্ধতি দ্বারা ধাতু নিষ্কাশন করা হয়। কার্বনেট আকরিক থেকে ধাতু নিষ্কাশন করতে হলে ভস্মীকরণ দ্বারা কার্বনেট আকরিককে অক্সাইডে পরিণত করা হয়।

(i) কার্বন বিজারণ পদ্ধতি, (ii) স্বতঃবিজারণ পদ্ধতি, (iii) থার্মিট পদ্ধতি হল তাপ প্রয়োগ পদ্ধতির অন্তর্গত।

(1) কার্বন বিজারণ পদ্ধতি (Carbon Reduction Process) ঃ **বিশেষ রকম চুল্লিতে (সাধারণত পরাবর্ত চুল্লি) তাপজারণের ফলে উৎপন্ন ধাতব অক্সাইডকে উচ্চ উষ্ণতায় কোক দ্বারা বিজারিত করে ধাতুতে পরিণত করার পদ্ধতিকে কার্বন বিজারণ পদ্ধতি বলে।**

Zn, Mg, Fe, Pb প্রভৃতি ধাতুর আকরিককে, অক্সাইড, সালফাইড, কার্বনেট রূপে প্রকৃতির মধ্যে পাওয়া এই ধাতুগুলির নিষ্কাশন এই পদ্ধতিতে করা হয়। এই পদ্ধতিতে নীচের প্রক্রিয়াগুলি পরপর সম্পন্ন করা হয়।

(i) চূর্ণীকরণ যন্ত্রের সাহায্যে আকরিকগুলিকে প্রথমে সূক্ষ্ম চূর্ণে পরিণত করা হয়।

(ii) গাঢ়ীকরণ ঃ পূর্বে আলোচিত বিশেষ বিশেষ প্রক্রিয়ার দ্বারা আকরিকের মধ্যস্থ অপদ্রব্যগুলিকে যতদূর সম্ভব দূর করে আকরিককে গাঢ়ীকৃত আকরিকে পরিণত করা হয়।

(iii) ভস্মীকরণ ঃ একটি চুল্লির মধ্যে গাঢ়ীকৃত আকরিককে বায়ুর উপস্থিতিতে উত্তপ্ত করা হয়, কিন্তু গলানো হয় না। এর ফলে **আকরিকের মধ্যস্থ জলীয় বাষ্প, CO_2, মুক্ত S, As ইত্যাদি দূর হয় ও আকরিক সচ্ছিদ্র ও ফাঁপা হয়।**

(iv) তাপ-জারণ ঃ আকরিককে প্রচুর বায়ুপ্রবাহে চুল্লির মধ্যে গলনাঙ্কের কম উষ্ণতায় উত্তপ্ত করা হয়। এর ফলে—**(a) কার্বনেট আকরিক, অক্সাইডে পরিণত হয়। (b) নিম্ন যোজ্যতার অক্সাইডগুলি উচ্চ যোজ্যতার অক্সাইডে পরিণত হয়। (c) সালফাইড আকরিক জারিত হয়ে অক্সাইডে পরিণত হয়।**

যেমন—স্প্যাথিক আয়রন-ওর $FeCO_3$, তাপ-জারিত হয়ে FeO-তে পরিণত হয়, CO_2 বেরিয়ে যায়। উৎপন্ন FeO আবার বায়ু দ্বারা জারিত হয়ে Fe_2O_3-তে পরিণত হয়।

$$FeCO_3 = FeO + CO_2, \qquad 4FeO + O_2(\text{বায়ু}) = 2Fe_2O_3$$

জিঙ্ক ব্লেন্ড ZnS বা গ্যালেনা PbS ইত্যাদি সালফাইড আকরিকগুলি জারিত হয়ে অক্সাইডে পরিণত হয়।

$$2ZnS + 3O_2 = 2ZnO + 2SO_2, \qquad 2PbS + 3O_2 = 2PbO + 2SO_2$$

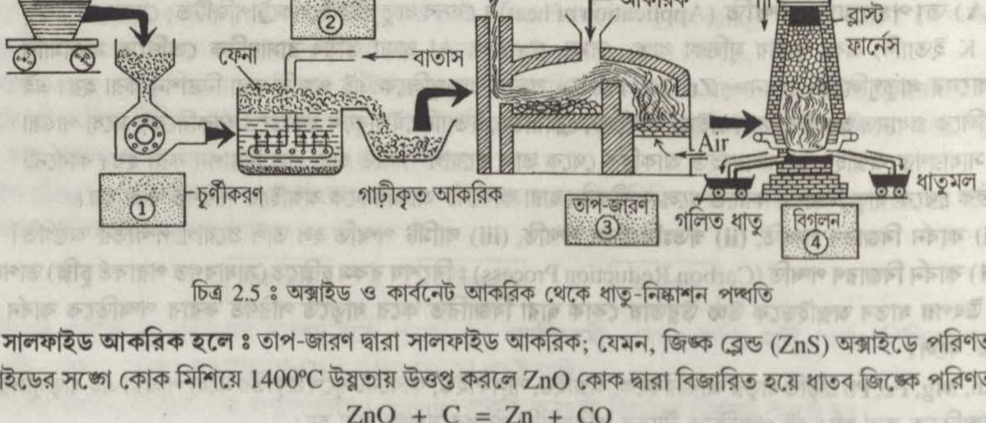
(v) বিগলন ঃ তাপ-জারিত আকরিকের মধ্যে বেশির ভাগই অক্সাইড থাকে। এই তাপ-জারিত আকরিকের সঙ্গে **কোক** এবং **পরিমাণ মতো বিগালক** যোগ করে চুল্লির মধ্যে উচ্চ উষ্ণতায় গলানো হয়। এর ফলে অক্সাইডগুলি কোক এবং কোকের দহনে উৎপন্ন CO দ্বারা বিজারিত হয়ে ধাতু উৎপন্ন করে। আকরিকের মধ্যস্থ খনিজ-মল, বিগালকের সঙ্গে যুক্ত হয়ে ধাতুমল উৎপন্ন করে ধাতু থেকে পৃথক হয়ে যায়। উৎপন্ন ধাতু ও ধাতুমল উচ্চ উষ্ণতায় গলিত অবস্থায় চুল্লির নীচে দুটি স্তরে জমা হয়। গলিত ধাতুর উপরে হালকা ধাতুমল ভাসতে থাকে। ধাতু থেকে একে পৃথক করে নেওয়া হয়।

উদাহরণ ঃ (a) কার্বনেট ও অক্সাইড আকরিক হলে ঃ ব্লাস্ট ফার্নেসে আয়রনের তাপজারিত আকরিকের (Fe_2O_3) সঙ্গে কোক এবং বিগলক $CaCO_3$ পরিমাণ মত নিয়ে ওই মিশ্রণকে 1000°C—1200°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত বায়ুপ্রবাহের উপস্থিতিতে গলানো হয়। এই উষ্ণতায় সূক্ষ্ম কার্বন এবং CO দ্বারা বিজারিত হয়ে ধাতব আয়রন উৎপন্ন হয়।

$$Fe_2O_3 + 3CO \rightleftharpoons 2Fe + 3CO_2\uparrow \quad ; \quad 2CO = C + CO_2\uparrow$$

$$Fe_2O_3 + 3C = 2Fe + 3CO\uparrow$$

আকরিকের অশুদ্ধি SiO_2, বিগালক CaO-এর সঙ্গে যুক্ত হয়ে ধাতুমল (Slag) উৎপন্ন করে। $SiO_2 + CaO = CaSiO_3$



চিত্র 2.5 ঃ অক্সাইড ও কার্বনেট আকরিক থেকে ধাতু-নিষ্কাশন পদ্ধতি

(b) সালফাইড আকরিক হলে ঃ তাপ-জারণ দ্বারা সালফাইড আকরিক; যেমন, জিঙ্ক ব্লেন্ড (ZnS) অক্সাইডে পরিণত হয়। এই অক্সাইডের সঙ্গে কোক মিশিয়ে 1400°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত করলে ZnO কোক দ্বারা বিজারিত হয়ে ধাতব জিঙ্কে পরিণত হয়।

$$ZnO + C = Zn + CO$$

(2) স্বতঃবিজারণ পদ্ধতি (Self-reduction method) ঃ কতকগুলি ধাতু যেমন কপার ও লেডের সালফাইড আকরিক, যেমন **গ্যালেনা** (PbS), **কপার গ্লাস** (Cu_2S) প্রভৃতিকে নিয়ন্ত্রিত বায়ুপ্রবাহ দ্বারা তাপ-জারণ করলে সালফাইড আকরিকগুলি আংশিকভাবে জারিত হয়ে অক্সাইডে পরিণত হয়, বাকি সালফাইড অবিকৃত থাকে। এইভাবে উৎপন্ন অক্সাইড উচ্চ উষ্ণতায় অবশিষ্ট ধাতব সালফাইড দ্বারা স্বতঃবিজারিত হয়ে ধাতু উৎপন্ন করে। **এই পদ্ধতিটিকে স্বতঃবিজারণ বলে। কপার, লেড প্রভৃতি ধাতু এই উপায়ে নিষ্কাশন করা হয়।**

তাপ-জারণ

$$2Cu_2S + 3O_2 \rightarrow 2Cu_2O + 2SO_2\uparrow$$

কপার গ্লান্স

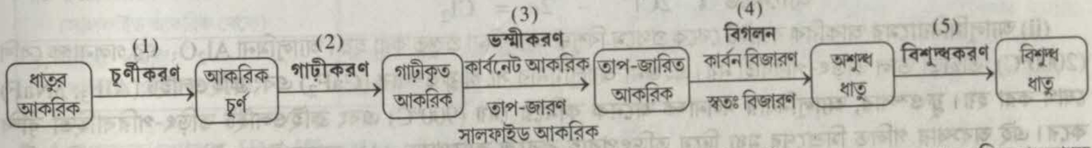
$$Cu_2S + 2O_2 \rightarrow Cu_2SO_4$$

স্বতঃবিজারণ

$$Cu_2\overset{-2}{S} + 2\overset{+1}{Cu_2}O \rightarrow 6\overset{0}{Cu} + \overset{+4}{S}O_2\uparrow$$

$$Cu_2S + Cu_2SO_4 \rightarrow 4Cu + 2SO_2\uparrow$$

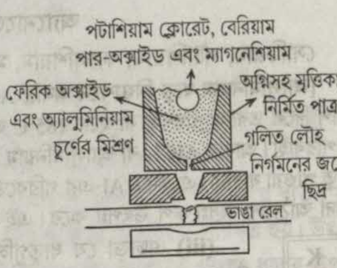
● **কার্বন-বিজারণ এবং স্বতঃ-বিজারণ পদ্ধতিতে ধাতু নিষ্কাশনের বিভিন্ন ধাপ ঃ**



(3) থার্মিট পদ্ধতি (Thermit process) ঃ কতকগুলি ধাতুর অক্সাইড কার্বন দ্বারা বিজারিত হলেও যেহেতু ধাতুগুলির গলনাঙ্ক খুব বেশি, তাই ধাতুগুলিকে ব্লাস্ট ফার্নেসে বিগলন প্রক্রিয়ায় কার্বন বিজারণ দ্বারা ধাতু নিষ্কাশন করা যায় না। এই ধাতুগুলিকে থার্মিট পদ্ধতি দ্বারা নিষ্কাশন করা হয়। এই পদ্ধতিতে Al ধাতুকে বিজারকরূপে ব্যবহৃত করা হয় কারণ উচ্চ উষ্ণতায় O_2-এর প্রতি Al-এর তীব্র আসক্তি জন্মে।

Fe
Cr
Co
Mn

আয়রন (Fe), ক্রোমিয়াম (Cr), কোবাল্ট (Co), ম্যাঙ্গানিজ (Mn) প্রভৃতি ধাতুর অক্সাইডকে অ্যালুমিনিয়াম চূর্ণের সঙ্গে মিশিয়ে একটি বিশেষ ধরনের ফায়ার ক্লে নির্মিত পাত্রে নিয়ে ওর উপর বেরিয়াম পারক্সাইড ও পটাশিয়াম ক্লোরেটের একটি মিশ্রণ রেখে Mg ধাতুর একটি ফিতার সাহায্যে ওতে আগুন ধরানো হয়। BaO_2 এবং $KClO_3$-এর মিশ্রণে আগুন লাগলে তীব্র তাপ উৎপন্ন হয় এবং প্রায় 2000°C উষ্ণতার সৃষ্টি হয়। এই উচ্চ উষ্ণতায় ধাতব অক্সাইডগুলি অ্যালুমিনিয়াম দ্বারা বিজারিত হয়ে ধাতু উৎপন্ন করে। **বিক্রিয়াগুলি তাপ উৎপাদক।** তাই একবার বিক্রিয়া শুরু হলে বাইরে থেকে আর তাপ দেওয়ার দরকার হয় না—বিক্রিয়া দ্বারা নিজে থেকেই তাপ উৎপন্ন হতে থাকে।



চিত্র 2.6 ঃ থার্মিট পদ্ধতি

$$Fe_2O_3 + 2Al = 2Fe + Al_2O_3 + 199 \text{ k cal}$$
$$Cr_2O_3 + 2Al = 2Cr + Al_2O_3 + 130 \text{ k cal}$$

উৎপন্ন ধাতু গলিত অবস্থায় থার্মিট পাত্রের নীচের ছিদ্র দিয়ে বেরিয়ে আসে।

(B) তড়িৎ বিজারণ পদ্ধতি (Electrolytic reduction process) ঃ

যে ধাতুগুলি তীব্র ইলেকট্রো-পজিটিভ সেইসব ধাতুর অক্সাইডকে কোক দ্বারা বিজারণ করে ধাতু উৎপন্ন করা যায় না। যেমন, K_2O, Na_2O, CaO, Al_2O_3 ইত্যাদি অক্সাইডগুলিকে কার্বন দ্বারা বিজারিত করা যায় না। কারণ **K, Na, Ca, Al** ইত্যাদি ধাতুগুলি তীব্র ইলেকট্রোপজিটিভ, তাই O_2-এর প্রতি এদের আসক্তি খুব তীব্র। সেইজন্য ক্ষার ধাতু এবং ক্ষারীয় মৃত্তিকা ধাতু এবং Al, Mg ধাতুগুলির হ্যালাইড বা হাইড্রক্সাইডকে গলিত অবস্থায় উপযুক্ত তড়িদ্দ্বারের মাধ্যমে তড়িদ্বিশ্লেষণ করলে ক্যাথোড ধাতুগুলি মুক্ত হয়।

K
Ca
Na
Mg
Al

(i) Na, K, Ca, Mg প্রভৃতি ধাতুর নিষ্কাশনে ওই ধাতুগুলির অনার্দ্র ক্লোরাইড লবণকে তাপ প্রয়োগে গলিয়ে, গলিত লবণটির তড়িৎ-বিজারণে ধাতু উৎপন্ন হয়।

গলিত ধাতব ক্লোরাইড বা হাইড্রক্সাইড থেকে যে ধাতব ক্যাটায়ন উৎপন্ন হয়, তড়িদ্বিশ্লেষণে ক্যাটায়নগুলি ক্যাথোডে যায় এবং ক্যাথোড থেকে ইলেকট্রন গ্রহণ করে বিজারিত হয়ে ধাতুকে পরিণত হয়।

$$MCl_x \rightleftharpoons M^{x+} + xCl^-, \qquad M(OH)_x \rightleftharpoons M^{x+} + xOH^-$$

$$\text{ক্যাথোডে,} \quad M^{x+} + xe \rightarrow \underset{\text{ধাতু}}{M} \ (\text{বিজারণ})$$

M = Na, K, Mg, Ca প্রভৃতি। পর্যায় সারণির IA শ্রেণির ক্ষার ধাতু এবং IIA শ্রেণির ক্ষারীয় মৃত্তিকা ধাতুগুলিকে এইভাবে নিষ্কাশন করা হয়।

উদাহরণ ঃ (i) সোডিয়াম- NaCl-এর গলনাঙ্ক বেশি, তাই গলিত NaCl-এর সঙ্গে $CaCl_2$ যোগ করলে মিশ্রণের গলনাঙ্ক কমে যায় এবং তড়িৎ পরিবাহিতা বাড়ে। ওই গলিত মিশ্রণের মধ্যে তড়িৎপ্রবাহ করলে ক্যাথোডে Na^+ আয়নগুলি বিজারিত হয়ে ধাতুরূপে মুক্ত হয়।

$$NaCl \rightleftharpoons Na^+ + Cl^-$$

ক্যাথোড ঃ $Na^+ + e = Na$ (বিজারণ)

অ্যানোডে ঃ $2Cl^- - 2e = Cl_2$

(ii) অ্যালুমিনিয়ামের আকরিক বক্সাইট থেকে প্রথমে বিশুদ্ধ অ্যালুমিনা প্রস্তুত করা হয়। অ্যালুমিনা Al_2O_3-এর গলনাঙ্ক বেশি (2000°C), তাছাড়া ভাল তড়িৎ-পরিবাহী নয়। এইজন্য অ্যালুমিনার সঙ্গে **ফ্লুওস্পার** (CaF_2) এবং **ক্রাইওলাইট** (AlF_3, 3NaF) **যোগ করা হয়। ফ্লুওস্পার, অ্যালুমিনার গলনাঙ্ক অনেক কমিয়ে দেয় (900°C) এবং ক্রাইওলাইট তড়িৎ-পরিবাহিতা বৃদ্ধি করে। এই অবস্থায় গলিত মিশ্রণের মধ্য দিয়ে তড়িৎপ্রবাহ করলে ক্যাথোডে Al^{3+} আয়ন ইলেকট্রন গ্রহণ করে বিজারিত হয়ে Al ধাতু উৎপন্ন করে।**

$$Al_2O_3 \text{ (গলিত)} \rightleftharpoons 2Al^{3+} + 3O^{2-}$$

ক্যাথোড ঃ $2Al^{3+} + 6e \rightarrow 2Al$ (বিজারণ)

অ্যানোডে ঃ $3O^{2-} - 6e \rightarrow 3O \quad 3O + 3O = 3O_2$

সোডিয়াম, পটাশিয়াম, ক্যালশিয়াম, ম্যাগনেশিয়াম, অ্যালুমিনিয়াম প্রভৃতি ধাতুগুলি এই উপায়ে নিষ্কাশন করা হয়।

[**অ্যালুমিনিয়াম ধাতু নিষ্কাশনে অনার্দ্র $AlCl_3$-কে গলিয়ে তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করে Al ধাতু পাওয়া যায় না।** এর কারণ হল, $AlCl_3$-কে তাপ দিলে তরলে পরিণত না হয়ে 185°C তাপমাত্রায় ঊর্ধ্বপাতিত হয়ে যায়। এছাড়া অনার্দ্র $AlCl_3$ একটি সমযোজী যৌগ এবং তড়িৎ অপরিবাহী। আবার $AlCl_3$ বা অ্যালুমিনিয়াম ধাতুর অন্যান্য লবণের জলীয় দ্রবণ তড়িৎ পরিবাহী হলেও, ওই দ্রবণের তড়িদ্‌বিশ্লেষণে Al ধাতু পাওয়া যায় না। এক্ষেত্রে Al-এর পরিবর্তে ক্যাথোডে H_2 নির্গত হয়। তাছাড়া Al লবণ জলীয় দ্রবণে আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়ে $Al(OH)_3$-এর সাদা আঠালো অধঃক্ষেপ উৎপন্ন করে। এই কারণে অ্যালুমিনার (Al_2O_3)-এর তড়িৎ-বিজারণ দ্বারা Al ধাতু নিষ্কাশন করা হয়।]

K
Ca
Na
Mg

(iii) এছাড়া যে ধাতুগুলি তড়িৎ রাসায়নিক শ্রেণিতে হাইড্রোজেনের নীচে থাকে; যেমন—কপার, মার্কারি, সিলভার প্রভৃতি সেই ধাতুগুলির আয়নের বিজারিত হওয়ার প্রবণতা অনেক বেশি। তাছাড়া যেহেতু ধাতুগুলি তড়িৎ বিভব শ্রেণিতে হাইড্রোজেনের নীচে থাকে, তাই ধাতুগুলির লবণের জলীয় দ্রবণের তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করলে H^+ আয়নের পরিবর্তে ধাতব আয়নগুলি ক্যাথোডে বিজারিত হয়ে ধাতুরূপে মুক্ত হয়। যেমন—কপার সালফেট দ্রবণের তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করলে ক্যাথোডে কপার মুক্ত হয়।

$$CuSO_4 \rightleftharpoons Cu^{2+} + SO_4^{2-}$$

ক্যাথোড ঃ $Cu^{2+} + 2e = Cu\downarrow$

● **ধাতু নিষ্কাশনের অন্যান্য পদ্ধতি ঃ**

(1) ধাতু দ্বারা প্রতিস্থাপন (By metal replacement) ঃ একটি ধাতুর লবণের জলীয় দ্রবণে, ধাতুটির চেয়ে বেশি ইলেকট্রোপজিটিভ ধাতু যোগ করলে ওই কম ইলেকট্রোপজিটিভ ধাতুটি দ্রবণ থেকে অধঃক্ষিপ্ত হয়। যেমন—Cu-এর চেয়ে Fe বেশি ইলেকট্রোপজিটিভ, তাই $CuSO_4$ দ্রবণে Fe চূর্ণ যোগ করলে ধাতব Cu অধঃক্ষিপ্ত হয় এবং Fe দ্রবীভূত হয়ে $FeSO_4$ উৎপন্ন করে। জলীয় দ্রবণে $CuSO_4$, Cu^{2+} এবং SO_4^{2-} আয়নে বিয়োজিত অবস্থায় থাকে। এখন এই দ্রবণে Fe যোগ করলে যেহেতু Cu-এর চেয়ে Fe বেশি ইলেকট্রোপজিটিভ, তাই Cu-এর চেয়ে Fe পরমাণুর ইলেকট্রন ত্যাগের প্রবণতা বেশি। Fe পরমাণু 2টি ইলেকট্রন ত্যাগ করে Fe^{2+} আয়নে পরিণত হয় এবং Cu^{2+} আয়ন Fe দ্বারা বর্জিত ওই ইলেকট্রন গ্রহণ করে ধাতব Cu-তে পরিণত হয়।

$$CuSO_4 \rightleftharpoons Cu^{2+} + SO_4$$

$$Fe - 2e = Fe^{2+}, \quad Cu^{2+} + 2e = Cu\downarrow$$

(2) কার্বনিল পদ্ধতি বা মন্ড পদ্ধতি ঃ এই পদ্ধতি দ্বারা বিশুদ্ধ নিকেল পাওয়া যায়। এই পদ্ধতিতে অবিশুদ্ধ ধাতুকে CO দ্বারা উত্তপ্ত করা হয়। এর ফলে ধাতব কার্বনিল উৎপন্ন হয় [$Ni(CO)_4$ গলনাঙ্ক 316K]। অবিশুদ্ধ ধাতব পদার্থ এই উত্তাপে কার্বনিল উৎপন্ন করতে পারে না। সুতরাং $Ni(CO)_4$ পাতিত হয়ে যায়। ওই বিশুদ্ধ নিকেল কার্বনিলকে এখন 420—470K তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করলে বিশুদ্ধ Ni এবং CO পাতিত হয়। পাতিত দ্রব্যকে ঠান্ডা করলে ধাতব Ni বিশুদ্ধ অবস্থায় পাওয়া যায়।

$$Ni + CO \xrightarrow{350\ K} Ni(CO)_4 \xrightarrow{450\ K} Ni + 4CO\uparrow$$

● **ধাতু-নিষ্কাশনের বিভিন্ন পদ্ধতি দ্বারা যে যে ধাতু নিষ্কাশিত হয় মনে রাখার জন্য ছক—**

ধাতু নিষ্কাশন পদ্ধতি	নিষ্কাশিত ধাতু	ধাতু নিষ্কাশন পদ্ধতি	নিষ্কাশিত ধাতু
1. কার্বন বিজারণ পদ্ধতি (অক্সাইড, কার্বনেট, সালফাইড, আকরিক থেকে)	আয়রন (Fe), জিঙ্ক (Zn), কপার (Cu), ম্যাগনেশিয়াম (Mg).	**4. তড়িৎ-বিজারণ পদ্ধতি** (i) গলিত হাইড্রক্সাইডের;	সোডিয়াম (Na), পটাশিয়াম (K),
2. স্বতঃবিজারণ পদ্ধতি (সালফাইড আকরিক থেকে)	কপার (Cu), লেড (Pb)	(ii) গলিত ক্লোরাইডের; (iii) গলিত ক্রায়োলাইট মিশ্রিত অ্যালুমিনার তড়িদ্‌বিশ্লেষণ দ্বারা।	সোডিয়াম (Na), ম্যাগনেশিয়াম (Mg), ক্যালশিয়াম (Ca), অ্যালুমিনিয়াম (Al)
3. থার্মিট পদ্ধতি (অক্সাইড আকরিক থেকে)	আয়রন (Fe), ক্রোমিয়াম (Cr) ম্যাঙ্গানিজ (Mn).		

2.4. ধাতুর শোধন [Purification of metals]

বিভিন্ন প্রক্রিয়ার দ্বারা আকরিক থেকে ধাতু নিষ্কাশন করা হয় বটে, কিন্তু এইভাবে উৎপন্ন ধাতু সম্পূর্ণ বিশুদ্ধ নয়—ওর মধ্যে অনেক রকম অশুদ্ধি বর্তমান থাকে। নিষ্কাশিত ধাতুর সঙ্গে সাধারণত যে অশুদ্ধিগুলি উপস্থিত থাকে সেগুলি হল—

(i) অন্যান্য ধাতু—আকরিকের মধ্যে থাকা অন্য ধাতুর অক্সাইড একই সাথে বিজারিত হয়ে ধাতুতে পরিণত হয়।

(ii) অন্যান্য অধাতু—যেমন সিলিকা, ফসফরাস—যেগুলি বিজারণ দ্বারা উৎপন্ন হয়।

(iii) বিক্রিয়া করেনি এমন আকরিকের অক্সাইড বা সালফাইড।

(iv) চুল্লির মধ্যে থাকাকালে গলিত ধাতুর সাথে মিশে যাওয়া ধাতুমল, বিগালক ইত্যাদি।

তাই নিষ্কাশিত ধাতুর শোধন করার দরকার হয়। ধাতুর প্রকৃতি এবং ধাতুর মধ্যে উপস্থিত অশুদ্ধিগুলির প্রকৃতি অনুযায়ী ধাতু শোধনের জন্য বিভিন্ন পদ্ধতি অবলম্বন করা হয়। নীচে ধাতু শোধনের কতকগুলি পদ্ধতি আলোচনা করা হল ঃ

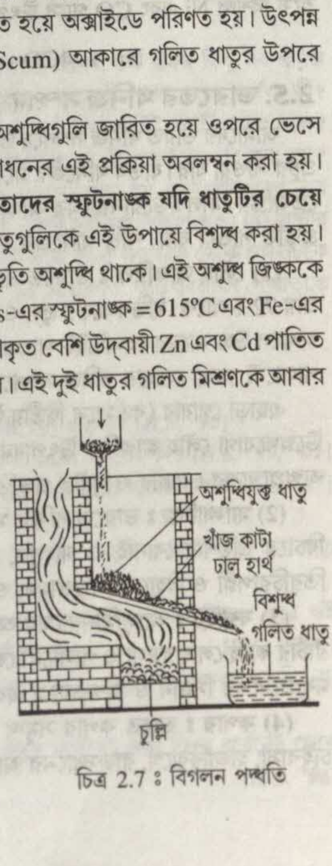
(1) বায়ু-জারণ পদ্ধতি (Air oxidation method) ঃ অশুদ্ধ ধাতুকে চুল্লির মধ্যে রেখে তাপ প্রয়োগে গলিয়ে ধাতুর মধ্য দিয়ে বায়ুপ্রবাহ চালনা করা হয়। এর ফলে অশুদ্ধিগুলি সহজে বায়ুর অক্সিজেন দ্বারা জারিত হয়ে অক্সাইডে পরিণত হয়। উৎপন্ন অক্সাইডের উদ্‌বায়ী অংশ গ্যাসরূপে বেরিয়ে যায় এবং অনুদ্‌বায়ী অক্সাইডগুলি গাদের **(Scum)** আকারে গলিত ধাতুর উপরে ভাসতে থাকে। এই গাদকে উপর থেকে সরিয়ে ফেলে বিশুদ্ধ ধাতু সংগ্রহ করা হয়।

যেমন, **লেডকে** চুল্লিতে গলিয়ে গলিত লেডের মধ্য দিয়ে বায়ুপ্রবাহ চালনা করলে অশুদ্ধিগুলি জারিত হয়ে ওপরে ভেসে ওঠে। হাতার সাহায্যে এই অশুদ্ধিকে বের করে বিশুদ্ধ Pb সংগ্রহ করা হয়। **কপারের** শোধনের এই প্রক্রিয়া অবলম্বন করা হয়।

(2) আংশিক পাতন পদ্ধতি ঃ অশুদ্ধ ধাতুর সঙ্গে যে অশুদ্ধিগুলি বর্তমান থাকে তাদের স্ফুটনাঙ্ক যদি ধাতুটির চেয়ে কম হয়, তাহলে এই পদ্ধতিতে ধাতুটিকে বিশুদ্ধ করা হয়। জিঙ্ক, ক্যাডমিয়াম প্রভৃতি ধাতুগুলিকে এই উপায়ে বিশুদ্ধ করা হয়।

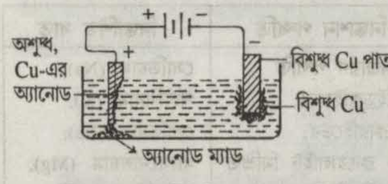
যেমন, কার্বন বিজারণ দ্বারা প্রাপ্ত ধাতব জিঙ্কের মধ্যে সামান্য পরিমাণ Cd, As, Fe প্রভৃতি অশুদ্ধি থাকে। এই অশুদ্ধ জিঙ্ককে **স্পেলটার** (Spelter) বলে। Zn-এর স্ফুটনাঙ্ক = 920°C, Cd-এর স্ফুটনাঙ্ক = 767°C, As-এর স্ফুটনাঙ্ক = 615°C এবং Fe-এর স্ফুটনাঙ্ক = 2700°C। স্পেলটারকে আংশিক পাতন করলে প্রথমে 920°C উষ্ণতায় অপেক্ষাকৃত বেশি উদ্‌বায়ী Zn এবং Cd পাতিত হয়ে অন্যান্য অশুদ্ধি থেকে পৃথক হয়। পাতিত দ্রব্যরূপে Zn এবং Cd-এর মিশ্রণ পাওয়া যায়। এই দুই ধাতুর গলিত মিশ্রণকে আবার 767°C উষ্ণতায় পাতিত করলে বেশি উদ্‌বায়ী Cd পাতিত হয়ে বেরিয়ে যায়, বিশুদ্ধ Zn অবশেষরূপে পাওয়া যায়।

(3) বিগলন প্রণালী (Liquidation process) ঃ **যে সমস্ত ধাতু কম উষ্ণতাতেই গলে যায়, সেই ধাতুর অশুদ্ধিগুলি সহজেই ধাতুগুলিকে গলিয়ে পৃথক করা যায়।** অশুদ্ধিযুক্ত ধাতুটিকে CO গ্যাসের আবহাওয়ায় উত্তপ্ত করলে কম উষ্ণতাতেই ধাতুটি গলে যায় এবং খাঁজ কাটা ঢালু একটি পাতের উপর থেকে নীচের দিকে এই গলিত ধাতুকে প্রবাহিত করা হয়। এর ফলে গলিত ধাতুটি নীচে রাখা গ্রাহকে জমা হয়। কিন্তু অশুদ্ধিগুলি ওই উষ্ণতায় কঠিন অবস্থায় থাকে বলে ওই খাঁজগুলির মধ্যে আটকে যায়। এইভাবে কঠিন অশুদ্ধি থেকে গলিত ধাতুকে সহজেই পৃথক করা হয়। টিনের (Sn) মধ্যে যে অশুদ্ধিগুলি থাকে, সেগুলি থেকে বিশুদ্ধ Sn-কে এইভাবে পৃথক করা যায়। লেডকেও এই প্রক্রিয়ায় বিশুদ্ধ করা হয়।



চিত্র 2.7 ঃ বিগলন পদ্ধতি

(4) তড়িদ্‌বিশ্লেষণ পদ্ধতি (Electrolysis process) ঃ অশুদ্ধ ধাতু থেকে এই প্রক্রিয়ায় বিশুদ্ধ ধাতু উৎপন্ন করা যায়।



চিত্র 2.8 ঃ তড়িদ্‌বিশ্লেষণ পদ্ধতি

অশুদ্ধিযুক্ত ধাতব কোনো **উপযুক্ত লবণের জলীয় দ্রবণকে তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যরূপে ব্যবহার করা হয় এবং অশুদ্ধ ধাতুকে অ্যানোড এবং ওই ধাতুরই বিশুদ্ধ পাতকে ক্যাথোডরূপে ব্যবহার করে তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করা হয়।** এর ফলে ক্যাথোডে বিশুদ্ধ ধাতু জমা হয় এবং অ্যানোড থেকে সমপরিমাণ ধাতু মুক্ত হয়ে দ্রবণে চলে আসে। এর ফলে অশুদ্ধিগুলি দ্রবীভূত অবস্থায় কিংবা অদ্রাব্য অবস্থায় অ্যানোডের নীচে অধঃক্ষিপ্ত হয়। একে **অ্যানোড ম্যাড** (Anode mud) বলে।

কপার, জিঙ্ক, অ্যালুমিনিয়াম, লেড প্রভৃতির শোধনে এই পদ্ধতি অবলম্বন করা হয়।

চুল্লি থেকে ব্লিস্টার কপার পাওয়া যায় তার মধ্যে অনেক অশুদ্ধি থাকে। ব্লিস্টার কপারকে অ্যানোড এবং বিশুদ্ধ Cu পাতকে ক্যাথোডরূপে ব্যবহার করে অ্যাসিডযুক্ত $CuSO_4$ দ্রবণের মধ্যে তড়িৎপ্রবাহ চালনা করলে বিশুদ্ধ Cu ক্যাথোডে জমা হয়।

$$CuSO_4 \rightleftharpoons Cu^{2+} + SO_4^{2-}$$

ক্যাথোড ঃ $Cu^{2+} + 2e = Cu$ **অ্যানোড ঃ** $Cu - 2e = Cu^{2+}$

(5) ভ্যান আরকেল পদ্ধতি (Van-Arkel process) ঃ এই পদ্ধতিতে ধাতুটিকে একটি উদ্‌বায়ী যৌগে পরিণত করা হয়। এই অবস্থায় ধাতুর অশুদ্ধিগুলি অপরিবর্তিত অবস্থায় অবশেষরূপে পড়ে থাকে। এইভাবে প্রস্তুত বিশুদ্ধ উদ্‌বায়ী যৌগটিকে উচ্চতাপে বিয়োজিত করলে খুব বিশুদ্ধ ধাতুকে কঠিনরূপে পাওয়া যায়।

এই পদ্ধতি দ্বারা টাইটেনিয়াম, জারকোনিয়াম প্রভৃতি ধাতুর বিশুদ্ধিকরণ করা হয়।

(6) মন্ড পদ্ধতি (Mond process) ঃ এই পদ্ধতিটি Ni ধাতুর শোধনে ব্যবহৃত হয়। অশুদ্ধিযুক্ত নিকেল ধাতুকে 60ºC—80ºC উষ্ণতায় CO গ্যাসের প্রবাহের মধ্যে উত্তপ্ত করা হয়। এর ফলে কেবল Ni ধাতু CO-এর সাথে বিক্রিয়া করে উদ্‌বায়ী নিকেল কার্বনিল যৌগে পরিণত হয়। এই উদ্‌বায়ী যৌগকে অন্য কক্ষে নিয়ে 200ºC উষ্ণতায় উত্তপ্ত করলে $Ni(CO)_4$ যৌগ তাপ বিয়োজিত হয়ে বিশুদ্ধ Ni এবং CO গ্যাস উৎপন্ন করে। CO গ্যাসকে সরিয়ে ফেলে বিশুদ্ধ নিকেল সংগ্রহ করা হয়।

$$Ni + 4CO \xrightarrow{80^\circ C} Ni(CO)_4 ; \quad Ni(CO)_4 \xrightarrow{200^\circ C} Ni + 4CO\uparrow$$

2.5. ভারতের খনিজ সম্পদ [Mineral wealth of India]

আমাদের ভারত খনিজ সম্পদে ভরা একটি দেশ। এখানে ধাতব খনিজ, অধাতব খনিজ এবং জীবাশ্ম জ্বালানি অর্থাৎ শক্তি খনিজ প্রচুর পাওয়া যায়। ধাতব খনিজের মধ্যে আয়রন, ম্যাঙ্গানিজ, বক্সাইট, কপার, সোনা, জিঙ্ক, নিকেল, লেড, টিন, টাংস্টেন এমনকি তেজস্ক্রিয় মৌল ইউরেনিয়ামের আকরিকও পাওয়া যায়। অধাতব খনিজের মধ্যে চুনাপাথর বা মার্বেল, হীরক, গ্রাফাইট, কাইনাইট প্রভৃতি পাওয়া যায়। শক্তি খনিজের মধ্যে ভারতে প্রচুর কয়লা এবং সামান্য খনিজ তেল পাওয়া যায়।

(1) লৌহ আকরিক ঃ ভারতে প্রাপ্ত লৌহ আকরিকের অধিকাংশই হল উচ্চমানের হেমাটাইট আকরিক। এতে লোহার ভাগ প্রায় 72% থাকে। ছত্তিশগড়ের দ্রুগ ও বস্তার লৌহ আকরিকের উৎপাদনে ভারতে প্রথম। ওড়িশার কেওঞ্ঝর, ময়ূরভঞ্জ ও বোনাই অঞ্চলে উচ্চ মানের হেমাটাইট পাওয়া যায়। লৌহ সম্পদে ভারতের দ্বিতীয় স্থানে আসে ঝাড়খণ্ড রাজ্য—এখানকার সিংভূম ও পালামৌ জেলা লোহার খনিজ সম্পদে ভরা।

এছাড়া গোয়ার (বর্তমানে দ্বিতীয় উৎপাদনকারী) সিরিগাও-বিচোলেম, গোগটে, কর্ণাটকের কুদ্রেমুখ, কেমানগুন্ডি ও বেল্লারী উল্লেখযোগ্য লৌহ আকরিক উৎপাদন কেন্দ্র। এছাড়া ঝাড়খণ্ডের নোয়ামুন্ডি, ওড়িশার গরুমহিষানি, বাদামপাহাড়, কিরিবুরু এবং অন্ধ্রপ্রদেশের নেল্লোর ও গুন্টুর প্রভৃতি হল লোহার আকরিক উৎপাদন কেন্দ্র।

(2) ম্যাঙ্গানিজ ঃ ভারতে সঞ্চিত ম্যাঙ্গানিজ ভাণ্ডারের প্রায় ৮০ শতাংশ হল মধ্যপ্রদেশ ও মহারাষ্ট্র রাজ্যে। কিন্তু উৎপাদনের বিচারে ওড়িশার বোনাই ও গাংপুর, কর্ণাটকের সান্দুর, চিত্রদুর্গ, চিকমাগালুর, শিমোগো, মহারাষ্ট্রের ভাণ্ডারা, অন্ধ্রপ্রদেশের তিরুচিরাপল্লী ও বিহারের বড়জামদা ও কোলহান উল্লেখযোগ্য।

(3) বক্সাইট ঃ অ্যালুমিনিয়ামের আকরিকটিকে ওড়িশার কোরাপুট, কালাহান্দি, বোলাঙ্গির ও সম্বলপুর জেলায়, ঝাড়খণ্ডের রাঁচীর কাছে লোহারডগা ও পালামৌ জেলায় গুজরাটের কয়ড়া জেলা ও জামনগরে, মহারাষ্ট্রের টঙ্গার পাহাড় ও রত্নগিরি অঞ্চলে, মধ্যপ্রদেশের সিওনি ও ছিন্দওয়ারা এবং ছত্তিশগড়ের অমরকন্টক ও বিলাসপুরে বক্সাইট পাওয়া যায়।

(4) কপার ঃ ভারত কপার সমৃদ্ধ দেশ না হলেও বেশ কিছু অঞ্চলে কপারের আকরিক পাওয়া যায়। ঝাড়খণ্ডের সিংভূম, চাইবাসা, হাজারিবাগে, রাজস্থানের আলওয়ার ঝুনঝুন এবং ক্ষেত্রী অঞ্চলে, অন্ধ্রপ্রদেশের গুন্টুর এবং নেলোর জেলায় এবং মধ্য

প্রদেশের বালাঘাটে তামার আকরিক পাওয়া যায়। ঝাড়খণ্ডের সিংভূম জেলার ঘাটশিলায় যে আকরিক পাওয়া যায়, সেই আকরিক থেকে ঘাটশিলার মৌভাণ্ডারে অবস্থিত প্লান্টে কপারের সঙ্গে কিছু সোনা এবং রূপাও নিষ্কাশন করা হয়।

(5) সোনা ঃ কর্ণাটকের কোলারে স্বর্ণ খনি আছে।

(6) লেড এবং জিঙ্ক ঃ ভারতের বিহার, উত্তরপ্রদেশ, পাঞ্জাব, গুজরাট, তামিলনাড়ু এবং রাজস্থানের ঝাওয়ার অঞ্চলে জিঙ্কের আকরিক জিঙ্ক ব্লেন্ড পাওয়া যায়। জিঙ্ক নিষ্কাশনের সময় ক্যাডমিয়াম উপজাত দ্রব্যরূপে পাওয়া যায়। রাজস্থানে কিছু কিছু সিলভারের খনিজ পাওয়া যায়।

এছাড়া ঝাড়খণ্ডের চাইবাসা জেলায় **ইউরেনিয়াম** পাওয়া যায়। বিহার, ঝাড়খণ্ড, অন্ধ্রপ্রদেশ এবং রাজস্থানে **অভ্রের খনি** বর্তমান। ভারতে পাঞ্জাব, রাজস্থান এবং মধ্যপ্রদেশ, মহারাষ্ট্রে **জিপসাম** আকরিক এবং বিহার, ওড়িশ্যা ও তামিলনাড়ুতে **চুনাপাথর ও ডলোমাইট** প্রচুর পাওয়া যায়।

• অনুশীলনী •

[A] অতি সংক্ষিপ্ত উত্তরধর্মী প্রশ্ন ঃ

(1) খনিজ এবং আকরিক কাকে বলে? **(2)** আকরিক ও খনিজের মধ্যে পার্থক্য কী? **(3)** ধাতব সালফাইডগুলিকে প্রধানত ভূত্বকে পাথর অবস্থায় পাওয়া যায় কিন্তু হ্যালাইড আকরিকগুলিকে হ্রদ বা সমুদ্রের জলে পাওয়া যায় কেন? **(4)** বিগালক কী? এর ব্যবহার কীভাবে হয়? **(5)** ধাতুমল কাকে বলে? **(6)** কতগুলি ধাতুকে মুক্ত অবস্থায় প্রকৃতির মধ্যে পাওয়া যায়—এর কারণ কী? **(7)** অ্যালুমিনো থার্মিট বা থার্মিট পদ্ধতি কী? **(8)** ধাতুমল কী? **(9)** চ্যালকো পাইরাইটিস এবং বক্সাইট কোন কোন ধাতুর আকরিক? **(10)** ম্যাগনেটাইট কোন ধাতুর আকরিক? **(11)** ডলোমাইট ও কার্নালাইটের রাসায়নিক ফর্মুলা কী? **(12)** অ্যানোড মাড কী? এটি কীভাবে পাওয়া যায়? **(13)** Cd যুক্ত Zn ধাতুকে কীভাবে Cd মুক্ত করা যায়? **(14)** ধাতু বিশোধনের কোন পদ্ধতিতে বিশুদ্ধতম ধাতু পাওয়া যায়? **(15)** Ca এবং Zn—এই ধাতু দুটির আকরিক থেকে ধাতু নিষ্কাশনের ক্ষেত্রে কোনটিকে তড়িৎ-বিজারণ পদ্ধতিতে এবং কোনটিকে কার্বন বিজারণ পদ্ধতিতে নিষ্কাশন করা যায়? **(16)** কপার সালফেটের জলীয় দ্রবণে আয়রন চূর্ণ যোগ করলে কী হবে?

[B] সংক্ষিপ্ত উত্তরধর্মী প্রশ্ন ঃ

(1) খনিজ এবং আকরিক বলতে কী বোঝ? খনিজ এবং আকরিকের মধ্যে পার্থক্য কী? 'সব আকরিকই হল খনিজ কিন্তু সব খনিজ আকরিক নয়'—উক্তিটির ব্যাখ্যা করো। **(2)** ভস্মীকরণ ও তাপ-জারণ বলতে কী বোঝায়? তাপজারণ ও ভস্মীকরণের মধ্যে পার্থক্য কী? **(3)** স্বতঃবিজারণ কাকে বলে? এই পদ্ধতিতে কোন্ কোন্ ধাতু নিষ্কাশিত করা হয়? **(4)** অ্যালুমিনো থার্মিট বা থার্মিট পদ্ধতি কাকে বলে? এই পদ্ধতিতে কোন কোন ধাতু নিষ্কাশন করা যায়? পদ্ধতিটি বর্ণনা করো। **(5)** তৈল ভাসন প্রণালীতে কী কী পদার্থ ব্যবহার করা হয়? সাধারণত কোন ধরনের আকরিক এই পদ্ধতিতে গাঢ় করা হয়? **(6)** তড়িৎ-বিজারণ পদ্ধতিতে নিষ্কাশন করা হয় এমন দুটি ধাতুর নাম লেখো এবং এদের নিষ্কাশনের বিক্রিয়াগুলি উল্লেখ করো। **(7)** কার্বন বিজারণ দ্বারা ধাতু নিষ্কাশনের একটি সংক্ষিপ্ত বিবরণ দাও। **(8)** ব্লিস্টার কপার থেকে কোন পদ্ধতিতে কীভাবে 99·9% বিশুদ্ধ কপার পাওয়া যায়? **(9)** Na এবং Cu—এই ধাতু দুটির আকরিক থেকে কোনটিকে স্বতঃবিজারণ এবং কোনটিকে তড়িৎ-বিজারণ পদ্ধতিতে নিষ্কাশন করবে? **(10)** কোন ধাতুগুলি সাধারণত তড়িৎবিজারণ পদ্ধতিতে নিষ্কাশন করা হয়। এই ধাতুগুলি পর্যায়-সারণির কোন দিকে থাকে?

[C] রচনাধর্মী প্রশ্ন ঃ

(1) ধাতুবিদ্যায় ব্যবহৃত নিম্নলিখিত পদসমূহের অর্থ ব্যাখ্যা করো ঃ
(i) খনিজ [*H.S. '99*] (ii) আকরিক [*H.S. '99*] (iii) খনিজমল, (iv) বিগালক এবং (v) ধাতুমল [*H.S. '99*]

(2) ধাতুবিদ্যায় ভস্মীকরণ এবং তাপজারণ বলতে কী বোঝ? ভস্মীকরণ এবং তাপজারণের মধ্যে পার্থক্য কী? [*H.S. '99, '01*]

(3) সংক্ষিপ্ত টীকা লেখো ঃ (i) কার্বন বিজারণ পদ্ধতি, (ii) স্বতঃবিজারণ পদ্ধতি [*H.S. '86, '00*] (iii) থার্মিট পদ্ধতি [*H.S. '87*] (iv) বিগালন প্রক্রিয়া, (v) তাপজারণ প্রক্রিয়া, (vi) তৈলভাসন প্রণালী।

(4) কার্বন বিজারণ দ্বারা কোন কোন ধাতু নিষ্কাশন করা হয়? একটি উদাহরণের সাহায্যে আকরিক থেকে কার্বন বিজারণ দ্বারা ধাতু নিষ্কাশনের প্রতিটি বিক্রিয়াগুলি বুঝিয়ে দাও।

(5) স্বতঃবিজারণ পদ্ধতি কাকে বলে? এই পদ্ধতি দ্বারা কোন কোন ধাতু নিষ্কাশন করা যায়? আকরিকের নাম উল্লেখ করে ওই আকরিক থেকে স্বতঃবিজারণ দ্বারা ধাতু নিষ্কাশনের প্রতি ধাপের বিক্রিয়াগুলি উদাহরণসহ বর্ণনা করো। [*H.S. 2000*]

(6) ধাতু নিষ্কাশনের নীচের পদ্ধতিগুলির প্রত্যেকটির নীতি একটি সমীকরণের মাধ্যমে ব্যাখ্যা করো। (i) স্বতঃবিজারণ পদ্ধতি (ii) থার্মিট পদ্ধতি (iii) কার্বন বিজারণ পদ্ধতি।

(7) Na, K, Ca প্রভৃতি ধাতুগুলিকে মুক্ত অবস্থায় পাওয়া যায় না কেন? একটি ক্ষার ধাতুর কার্বনেট এবং জিঙ্ক কার্বনেট থেকে কী করে ধাতুগুলি পাওয়া যেতে পারে সমীকরণসহ বলো। [*H.S. '96*]

(8) থার্মিট পদ্ধতির নীতি ব্যাখ্যা করো। এই পদ্ধতিতে নিষ্কাশন করা যায়—এমন দুটি ধাতুর নাম করো। [*H.S. '96*]

(9) ধাতু নিষ্কাশনে তড়িতের ব্যবহার সম্পর্কে আলোচনা করো। কপার সালফেট দ্রবণে জিঙ্ক দিলে কী হয়?

(10) নিম্নলিখিত মৌলগুলি ওদের ইলেকট্রোপজিটিভ ধর্মের ক্রমানুসারে সজ্জিত—এই তথ্য থেকে নিম্নলিখিত প্রশ্নের উত্তর দাও—$Na > Mg > Al > Zn > Fe > H > Cu > Pt$.

(i) Mg এবং Fe-এর মধ্যে কোনটি অধিক জারণ-ক্ষমতাসম্পন্ন? **(ii)** Cu এবং Zn-এর মধ্যে কোনটির সালফেট দ্রবণে অপর ধাতুটি যোগ করলে উক্ত মৌলটি মুক্ত হবে? **(iii)** Na এবং Cu-এর মধ্যে কোনটি প্রকৃতিতে মুক্ত অবস্থায় পাওয়ার সম্ভাবনা অধিক? **(iv)** Mg এবং Fe-এর মধ্যে কোনটিকে তুমি তড়িৎ-বিজারণ পদ্ধতিতে নিষ্কাশিত করবার জন্য বেছে নেবে? **(v)** কার্বন বিজারণ পদ্ধতিতে Na এবং Fe-এর মধ্যে কোনটির নিষ্কাশনের সম্ভাবনা কম? [*Ans.* (i) Fe, (ii) Cu, (iii) Cu, (iv) Mg, (v) Na]

11. বিগালক কী? এর প্রয়োজনীয়তা কী? ধাতুমল কাকে বলে? কি ধরনের খনিজমল অপসারিত করার জন্য কী জাতীয় বিগালক ব্যবহার করা হয়?

12. নীচের ধাতু নিষ্কাশন পদ্ধতিগুলির প্রত্যেকটির সংক্ষিপ্ত বিবরণ দাও। প্রত্যেকটি পদ্ধতির একটি করে উদাহরণ দিতে হবে। **(i)** কার্বন বিজারণ পদ্ধতি, **(ii)** তড়িৎ বিজারণ পদ্ধতি, **(iii)** স্বতঃবিজারণ পদ্ধতি। [*H.S. '84, '99*]

12. (A) পার্থক্য নির্দেশ করো—**(a)** খনিজ ও আকরিক, **(b)** খনিজমল ও ধাতুমল, **(c)** ভস্মীকরণ ও তাপজারণ।

13. খনিজমল এবং ধাতুমলের মধ্যে পার্থক্য কী? অম্লধর্মী ক্ষারধর্মী খনিজমল অপসারণে কী ধরনের বিগালক ব্যবহার করতে হবে, প্রতি ক্ষেত্রে একটি উদাহরণ দিয়ে বুঝিয়ে দাও। [*H.S. '99*]

14. নীচের আকরিকগুলি থেকে কার্বন বিজারণ পদ্ধতি, স্বতঃবিজারণ পদ্ধতি, তড়িৎ-বিজারণ পদ্ধতি এবং থার্মিট পদ্ধতির মধ্যে কোন পদ্ধতি দ্বারা ধাতু নিষ্কাশন করা যায় যুক্তিসহ লেখো। **(a)** জিঙ্ক ব্লেন্ড থেকে জিঙ্ক, **(b)** সাধারণ লবণ থেকে সোডিয়াম, **(c)** কপার সালফেট দ্রবণ থেকে কপার, **(d)** Cr_2O_3 থেকে ক্রোমিয়াম, **(e)** কপার পাইরাইটিস থেকে কপার।

15. কারণ ব্যাখ্যা করো ঃ (i) আকরিক থেকে ধাতু নিষ্কাশন আসলে ধাতব যৌগের বিজারণ। **(ii)** হেমাটাইট আয়রনের একটি আকরিক, কিন্তু আয়রন পাইরাইটিস নয়। **(iii)** কপার ধাতু নিষ্কাশনে কোনো বিজারক দ্রব্যের প্রয়োজন হয় না। **(iv)** কার্বনেট আকরিকের ক্ষেত্রে ভস্মীকরণ এবং সালফাইড আকরিকের ক্ষেত্রে তাপজারণ পদ্ধতি প্রয়োগ করা হয়। **(v)** সাধারণ লবণের জলীয় দ্রবণের তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করে সোডিয়াম ধাতু পাওয়া যায় না। **(vi)** CuO কার্বন দ্বারা বিজারিত হয় অথচ CaO কার্বন দ্বারা বিজারিত হয় না। [*H.S. '99*], **(vii)** $CaCl_2$-এর জলীয় দ্রবণের তড়িদ্‌বিশ্লেষণে Ca ধাতু পাওয়া যায় না। **(viii)** বিভিন্ন ধাতুর নিষ্কাশন পদ্ধতি, তড়িৎ-রাসায়নিক শ্রেণিতে ওদের অবস্থানের ওপর নির্ভর করে। **(ix)** Na, K, Ca, Al প্রভৃতি ধাতুগুলিকে কখনো মুক্ত অবস্থায় পাওয়া যায় না। **(x)** কার্বন বিজারণ পদ্ধতিতে অ্যালুমিনা থেকে অ্যালুমিনিয়াম নিষ্কাশন করা যায় না। **(xi)** Fe-এর চেয়ে Al আরো তীব্র বিজারক। [*H.S. '94*], **(xviii)** $CuSO_4$ দ্রবণে Zn চূর্ণ যোগ করলে Cu অধঃক্ষিপ্ত হয়, কিন্তু $ZnSO_4$ দ্রবণে Cu চূর্ণ যোগ করলে Zn অধঃক্ষিপ্ত হয় না।

16. (a) ম্যাট থেকে FeO-কে এবং স্টিল থেকে MnO-কে এবং আয়রন থেকে SiO_2-কে দূর করার জন্য কী জাতীয় বিগালক ব্যবহার করবে কারণসহ উল্লেখ করো। **(b)** $Pb(NO_3)_2$ দ্রবণের মধ্যে Zn চূর্ণ যোগ করলে কী হবে এবং কেন হবে?

[D] নৈর্ব্যক্তিক প্রশ্ন ঃ

18. সঠিক উত্তরটি নির্বাচন করো ঃ

(i) খনিজ পদার্থে উপস্থিত পাথুরে অশুদ্ধিকে বলে— **(a)** বিগালক, **(b)** খনিজমল, **(c)** মাটি, **(d)** ধাতুমল। [*Ans.* (b)]

(ii) কোনটি Al ধাতুর আকরিক নয়?— **(a)** কোরান্ডাম, **(b)** ডায়াস্পোর, **(c)** বক্সাইট, **(d)** গ্যালেনা। [*Ans.* (d)]

(iii) কোন আকরিকের গাঢ়ীকরণের ক্ষেত্রে তৈলভাসন পদ্ধতি প্রযোজ্য?
(a) অক্সাইড আকরিক, **(b)** সালফাইড আকরিক, **(c)** হ্যালাইড আকরিক, **(d)** সিলিকেট আকরিক। [*Ans.* (b)]

(iv) কতকগুলি ধাতুকে মুক্ত অবস্থায় প্রকৃতির মধ্যে পাওয়া যায় ওদের নিম্নলিখিত ধর্মের জন্য—
(a) কম ঘনত্ব, **(b)** উচ্চ ঘনত্ব, **(c)** কম সক্রিয়তা, **(d)** বেশি সক্রিয়তা। [*Ans.* (c)]

(v) তড়িৎ-বিজারণ পদ্ধতি প্রযুক্ত হয়—
(a) তীব্র ইলেকট্রোনেগেটিভ ধাতুর নিষ্কাশনে, **(b)** তীব্র ইলেকট্রোপজিটিভ ধাতুর নিষ্কাশনে, **(c)** সন্ধিগত ধাতুর নিষ্কাশনে, **(d)** ধাতুকল্পের নিষ্কাশনে। [*Ans.* (b)]

(vi) কপারের আকরিক হল— **(a)** গ্যালেনা, **(b)** হেমাটাইট, **(c)** বক্সাইট, **(d)** চ্যালকো পাইরাইটিস। [*Ans.* (d)]

(vii) ক্ষারধাতু হল— **(a)** K, **(b)** Mg, **(c)** Al, **(d)** Fe. [*Ans.* (a)]

● সোডিয়াম ধাতু ●

চিহ্ন : Na, আণবিক ভর : 23, পারমাণবিক সংখ্যা : 11, ইলেকট্রন বিন্যাস : $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^1$

2.6. প্রকৃতিতে সোডিয়ামের অবস্থান [Occurrence of sodium in nature]

সোডিয়াম খুব বেশি সক্রিয় বলে মুক্ত অবস্থায় প্রকৃতিতে পাওয়া যায় না। সোডিয়ামের যে সমস্ত আকরিক প্রকৃতিতে পাওয়া যায়, তাদের মধ্যে নীচেরগুলি বিশেষভাবে উল্লেখযোগ্য।

(1) ক্লোরাইড : সোডিয়াম ক্লোরাইড (খাদ্য লবণ) (Common salt) : NaCl সমুদ্রের জলে (2·6%), লবণ-হ্রদে, লবণের খনিতে (Rock salt) পাওয়া যায়।

(2) নাইট্রেট : সোডিয়াম নাইট্রেট—চিলি সল্টপিটার (Chilli saltpeter) $NaNO_3$।

(3) কার্বনেট : সোডিয়াম কার্বনেট (Na_2CO_3) : বালি ও মাটির সঙ্গে মিশ্রিত অবস্থায় পাওয়া যায়।

(4) পাইরোবোরেট : সোডিয়াম পাইরোবোরেট বা বোরাক্স (Borax) ($Na_2B_4O_7$, $10H_2O$)।

2.7. সোডিয়াম ধাতুর নিষ্কাশন [Extraction of sodium]

● **সোডিয়াম বা ক্ষার ধাতুগুলিকে কার্বন বিজারণ পদ্ধতি দ্বারা নিষ্কাশন করা যায় না**—এর কারণগুলি নীচে দেওয়া হল।

(i) তড়িৎ-রাসায়নিক শ্রেণিতে ক্ষার ধাতুগুলি উপরের দিকে অবস্থান করে তাই ওরা তীব্র ইলেকট্রোপজিটিভ ধাতু। এই কারণে অক্সিজেনের প্রতি ধাতুগুলির তীব্র আসক্তি আছে এবং ক্ষার ধাতুর অক্সাইডগুলি খুব স্থায়ী, তাই ক্ষার ধাতুর অক্সাইডগুলি উচ্চ তাপমাত্রাতেও কার্বন দ্বারা বিজারিত হয় না।

(ii) সোডিয়াম বা অন্যান্য ক্ষার ধাতুর কার্বনেটকে (Li ছাড়া) তাপ প্রয়োগে অক্সাইডে পরিণত করা যায় না।

(iii) ক্ষার ধাতুগুলি নিজেরাই তীব্র বিজারক তাই ধাতুগুলির অক্সাইডকে কার্বন বা অন্য বিজারক দ্বারা বিজারিত করে ধাতু নিষ্কাশন করা যায় না।

(iv) ক্ষার ধাতুর লবণের জলীয় দ্রবণের তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করে ধাতুগুলিকে নিষ্কাশন করা যায় না। এর কারণ হল ক্ষার ধাতুগুলির বিজারণ বিভব $E^o_{\text{ধাতব আয়ন/ধাতু}}$, হাইড্রোজেনের বিজারণ বিভব $E^o_{H^+/H}$ চেয়ে অনেক কম। এর ফলে জলীয় দ্রবণে উপস্থিত H^+ আয়ন, ধাতব আয়নের চেয়ে আগে ক্যাথোডে মুক্ত হয়। ফলে ক্ষার ধাতুর পরিবর্তে ক্যাথোডে হাইড্রোজেন মুক্ত হয়।

সুতরাং **সোডিয়াম বা ক্ষার ধাতুর নিষ্কাশনের একমাত্র উপায় হল, ক্ষার ধাতুর হ্যালাইড বা হাইড্রক্সাইডের গলিত অবস্থায় তড়িৎ বিজারণ।**

বর্তমানে দু'রকম পদ্ধতির সাহায্যে সোডিয়াম উৎপন্ন করা হয়। **(1) কাস্টনার পদ্ধতি** (Castner's process) ও **(2) ডাউন্‌স্ পদ্ধতি** (Downs process)।

(1) কাস্টনার পদ্ধতি (Castner's process) **:**

(A) নীতি : অনার্দ্র গলিত কস্টিক সোডার তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করে এই পদ্ধতিতে ধাতব সোডিয়াম নিষ্কাশন করা হয়।

(i) গলিত অবস্থায় কস্টিক সোডা Na^+ এবং OH^- আয়নে বিয়োজিত হয়ে থাকে। গলিত কস্টিক সোডার মধ্যে তড়িৎ-প্রবাহ চালনা করলে Na^+ **আয়নগুলি ক্যাথোডে যায় এবং ইলেকট্রন গ্রহণ করে সোডিয়াম ধাতুতে পরিণত হয়।** OH^- **আয়নগুলি অ্যানোডে ইলেকট্রন বর্জন করে OH মূলকে পরিণত হয়, কিন্তু OH মূলক দুঃস্থিত বলে পরস্পর যুক্ত হয়ে জল ও অক্সিজেন উৎপন্ন করে।**

$$NaOH \rightleftharpoons Na^+ + OH^-$$

ক্যাথোড : $Na^+ + e = Na$, অ্যানোড : $OH^- - e = OH$

$$4OH = 2H_2O + O_2\uparrow$$

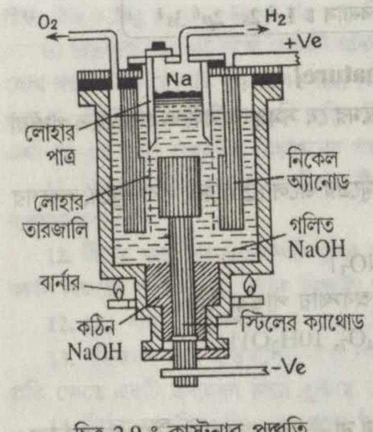
(ii) এইভাবে অ্যানোডে যে জল উৎপন্ন হয়, সেই জল আবার তড়িৎ-প্রবাহে বিশ্লিষ্ট হয়ে **ক্যাথোডে হাইড্রোজেন ও অ্যানোডে অক্সিজেন উৎপন্ন করে।**

$$H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$$

ক্যাথোড : $2H^+ + 2e = H_2\uparrow$, অ্যানোড : $OH^- - e = OH$

$$4OH = 2H_2O + O_2\uparrow$$

(B) পদ্ধতি ঃ (i) ঢালাই লোহার তৈরি ছোটো ছোটো গোলাকার ট্যাঙ্কে কস্টিক সোডা রেখে ট্যাঙ্কের নীচে বার্নার জ্বালিয়ে গলানো হয়। **গলিত কস্টিক সোডা 325°C—330°C উয়তায় রাখা হয়, কারণ উয়তা বেশি হলে ক্যাথোডে উৎপন্ন Na গলে গিয়ে গলিত কস্টিক সোডার সঙ্গে মিশে যেতে পারে। (ii)** ট্যাঙ্কটির নীচের অংশটি সরু হয়ে নলের মতো বেরিয়ে থাকে। এই নলের ভিতর দিয়ে একটি **স্টিলের ক্যাথোড** ট্যাঙ্কটির প্রায় মাঝখান পর্যন্ত প্রবেশ করানো থাকে। স্টিল ক্যাথোডটির উপরের অংশ অপেক্ষাকৃত প্রশস্ত হয়। **(iii)** ট্যাঙ্কটির নীচের অংশ ঠান্ডা থাকায় ওই অংশে কস্টিক সোডা কঠিন অবস্থায় থাকে এবং এর মধ্যে ক্যাথোড দণ্ডটি বসানো থাকায় ক্যাথোডটিকে স্থিরভাবে খাড়া অবস্থায় রাখতে অসুবিধা হয় না। **(iv) ক্যাথোডটিকে ঘিরে একটি নিকেলের চোঙ ওপর থেকে ঝুলিয়ে দেওয়া হয়, এটি অ্যানোডরূপে ব্যবহৃত হয়।** ট্যাঙ্কের অন্যান্য অংশ থেকে অ্যানোড ও ক্যাথোডকে অন্তরিত করে রাখা হয়। **(v)** অ্যানোড ও ক্যাথোডের মাঝে লোহার গোলাকার পাত্র থাকে। এই পাত্রটির নীচের দিকটা খোলা, উপরের দিকে হাইড্রোজেন গ্যাস বের হওয়ার জন্য নির্গম-নল থাকে। **(vi)** এই লোহার পাত্রটির নীচের প্রান্ত থেকে একটি লোহার তারজালি ঝুলিয়ে দেওয়া হয়, এর ফলে ক্যাথোডে উৎপন্ন ধাতব সোডিয়াম অ্যানোডের দিকে চলে যেতে পারে না। **(vii)** সম্পূর্ণ ক্যাথোডটি এবং অ্যানোডের বেশির ভাগ অংশ গলিত কস্টিক সোডার মধ্যে ডোবানো থাকে। **(viii)** এই অবস্থায় ক্যাথোড ও অ্যানোডের মধ্য দিয়ে তড়িৎ-প্রবাহ চালনা করলে **ক্যাথোডে সোডিয়াম গলিত অবস্থায় জমে এবং কস্টিক সোডার চেয়ে হালকা বলে লোহার পাত্রের মধ্যে ভেসে ওঠে।** সোডিয়ামের সঙ্গে হাইড্রোজেন উৎপন্ন হয় এবং উপরের নির্গম-নল দিয়ে বেরিয়ে যায়। এর ফলে উৎপন্ন সোডিয়াম সবসময় হাইড্রোজেন গ্যাসে ঢাকা থাকায় বায়ুর অক্সিজেন দ্বারা আক্রান্ত হওয়ার সম্ভাবনা থাকে না। **(ix) অ্যানোডে অক্সিজেন উৎপন্ন হয় এবং অন্য একটি নির্গম নল দিয়ে বেরিয়ে যায়। (x) তড়িদ্‌বিশ্লেষণে উৎপন্ন উপজাত দ্রব্য এবং ব্যবহার →** ক্যাথোডে H_2 এবং অ্যানোডে O_2 উপজাত দ্রব্যরূপে পাওয়া যায়। ধাতু ঝালাইয়ের জন্য অক্সি-হাইড্রোজেন শিখা উৎপন্নে, শ্বাসকার্যে সহায়তার জন্য এবং জারকরূপে O_2 ব্যবহৃত হয়। বনস্পতি ঘি প্রস্তুতে এবং HCl সংশ্লেষণে H_2 ব্যবহৃত হয়। **(xi) ধাতুটির সংগ্রহ →** ক্যাথোডের ওপরে গলিত NaOH-এর উপরে উৎপন্ন Na ভাসতে থাকে। ছিদ্রযুক্ত নিকেলের তৈরি হাতার সাহায্যে ধাতব Na তুলে কেরোসিনের মধ্যে ডুবিয়ে রাখা হয়।



চিত্র 2.9 ঃ কাস্টনার পদ্ধতি

● কাস্টনার পদ্ধতির সুবিধা এবং অসুবিধা ঃ

(i) সুবিধা ঃ (a) এই পদ্ধতিতে বেশি উয়তার দরকার হয় না। গলিত কস্টিক সোডার তড়িদ্‌বিশ্লেষণ 327°C উয়তায় ঘটানো হয়—এর ফলে উৎপন্ন সোডিয়াম বাষ্পীভূত হয়ে নষ্ট হয় না। সহজেই সোডিয়াম পাওয়া যায়। (b) এই পদ্ধতিতে হাইড্রোজেন এবং মূল্যবান অক্সিজেন উপজাতরূপে পাওয়া যায়।

(ii) অসুবিধা ঃ (a) এই পদ্ধতিতে যে পরিমাণ বিদ্যুৎ-শক্তি খরচ করা হয় তার মাত্র 50% সোডিয়াম প্রস্তুতিতে লাগে; বাকি অংশের অপচয় হয় জলের তড়িদ্‌বিশ্লেষণে। (b) কস্টিক সোডা প্রকৃতিতে পাওয়া যায় না, সোডিয়াম ক্লোরাইড থেকে সোডিয়াম হাইড্রক্সাইড তৈরি করতে হয়, তাই সোডিয়াম ধাতু নিষ্কাশনে খরচ বেশি পড়ে।

● **কাস্টনার পদ্ধতিতে গলিত NaOH-এর পরিবর্তে NaOH-এর জলীয় দ্রবণ ব্যবহার করা হয় না,** এর কারণ হল, NaOH-এর জলীয় দ্রবণে Na^+, OH^-, H^+ আয়নগুলি বর্তমান থাকে। যেহেতু সোডিয়াম হাইড্রোজেনের চেয়ে অনেক তীব্র তড়িৎ ধনাত্মক, তাই Na^+-এর চেয়ে H^+ আয়নের ইলেকট্রন গ্রহণ করার প্রবণতা বেশি। তাই দ্রবণে তড়িৎ চালনা করলে ক্যাথোডে Na^+-এর পরিবর্তে H^+ আয়ন ইলেকট্রন গ্রহণ করে বিজারিত হয়ে H_2 গ্যাসরূপে বেরিয়ে যায়। এর ফলে ক্যাথোডে সোডিয়াম ধাতু মুক্ত হয় না।

● **কাস্টনার পদ্ধতিতে গলিত NaOH-এর তাপমাত্রা 330°C-এর বেশি হতে দেওয়া হয় না,** এর কারণ হল, NaOH-এর গলনাঙ্ক 318°C। তাই 318°C তাপমাত্রায় NaOH গলে যায়। তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যের তাপমাত্রা 325°C—330°C-এ রাখা হয়। এই তাপমাত্রায় ক্যাথোডে উৎপন্ন সোডিয়াম গলিত NaOH-এর মধ্যে দ্রবীভূত না হয়ে গলিত NaOH-এর উপরে ভেসে ওঠে, যার জন্য উৎপন্ন Na-কে সংগ্রহ করা সহজ হয়। গলিত NaOH-এর উয়তা 330°C-এর বেশি হলে উৎপন্ন সোডিয়াম, গলিত NaOH-এ দ্রবীভূত হয়ে যায়। যেহেতু গলিত NaOH-এর মধ্যে অ্যানোডে উৎপন্ন O_2-ও কিছু পরিমাণে দ্রবীভূত থাকে, তাই ওই দ্রবীভূত Na, দ্রবীভূত O_2 দ্বারা জারিত হয়ে Na_2O-তে পরিণত হয়, ফলে উৎপন্ন Na-এর অপচয় ঘটে।

● সোডিয়াম ক্লোরাইড থেকে সোডিয়াম প্রস্তুতি ঃ প্রকৃতিতে প্রচুর সোডিয়াম ক্লোরাইড পাওয়া যায়, কাজেই খুব সস্তা। সেইজন্য অনেকদিন থেকেই সোডিয়াম ক্লোরাইড থেকে সোডিয়াম উৎপন্ন করার প্রচেষ্টা চলছিল, কিন্তু দেখা গেল, সোডিয়াম ক্লোরাইডের জলীয় দ্রবণের মধ্য দিয়ে তড়িৎপ্রবাহ করলে ধাতব সোডিয়াম উৎপন্ন হয় না—উৎপন্ন হয় NaOH।

আবার গলিত সোডিয়াম ক্লোরাইডের তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করতে গিয়ে নীচের অসুবিধাগুলি দেখা দেয়; ফলে অনেকদিন ধরে সোডিয়াম ক্লোরাইড থেকে সোডিয়াম নিষ্কাশন করা সম্ভব হয়ে ওঠেনি।

● গলিত সোডিয়াম ক্লোরাইডের তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করে ধাতব সোডিয়াম নিষ্কাশনে অসুবিধাগুলি কী?

(1) সোডিয়াম ক্লোরাইডের গলনাঙ্ক খুব বেশি, প্রায় 820ºC, কাজেই একে গলানো বেশি কষ্টকর, বেশি তড়িৎশক্তি খরচ হয়, ফলে সোডিয়াম নিষ্কাশনের খরচ খুব বেশি পড়ে।

(2) এই উচ্চ উষ্ণতায় সোডিয়াম ক্লোরাইড, উৎপন্ন সোডিয়াম ও ক্লোরিন—এরা সকলেই তীব্র ক্ষয়কারক পদার্থে পরিণত হয়, তাই পাত্র ও মূল্যবান গ্রাফাইট তড়িদ্দ্বারকে ক্ষয় করে দেয়।

(3) এই উচ্চ উষ্ণতায় উৎপন্ন সোডিয়ামের বেশির ভাগ অংশ গলিত সোডিয়াম ক্লোরাইডের সঙ্গে মিশে কলয়েড দ্রবণের সৃষ্টি করে। এই দ্রবণ থেকে সোডিয়ামকে আর উদ্ধার করা যায় না।

(4) সোডিয়ামের স্ফুটনাঙ্ক 883ºC। সেইজন্য 820ºC উষ্ণতায় উৎপন্ন সোডিয়ামের বেশ কিছু অংশ বাষ্পীভূত হয়ে মারাত্মক ধাতব ধোঁয়াশার সৃষ্টি করে, ফলে উৎপন্ন সোডিয়ামের বেশ কিছু অংশ নষ্ট হয়।

2. ডাউনস পদ্ধতি (Down's process) ঃ

আমেরিকান-বিজ্ঞানী **ডাউন** সোডিয়াম ক্লোরাইড থেকে ধাতব সোডিয়াম উৎপন্ন করার সহজ উপায় আবিষ্কার করেন।

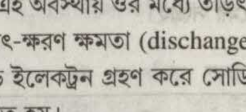
(A) নীতি ঃ সোডিয়াম ক্লোরাইডের সঙ্গে অনার্দ্র ক্যালশিয়াম ক্লোরাইড বা পটাশিয়াম ক্লোরাইড যোগ করে সোডিয়াম ক্লোরাইডের গলনাঙ্ক 820ºC থেকে 600ºC-এ নামিয়ে আনা হয়। এর ফলে উৎপন্ন Cl_2 বা Na-এর ক্ষয়কারক ধর্ম থাকে না—তাছাড়া উৎপন্ন Na বাষ্পে পরিণত হয় না বা গলিত NaCl-এর সঙ্গে কলয়েড উৎপন্ন করে নষ্ট হয় না।

গলিত অবস্থায় সোডিয়াম ক্লোরাইড Na^+ ও Cl^- আয়নে বিয়োজিত হয়ে থাকে। এই অবস্থায় ওর মধ্যে তড়িৎপ্রবাহ করলে যেহেতু সোডিয়ামের চেয়ে ক্যালশিয়াম বেশি তড়িৎধনাত্মক, তাই ক্যালশিয়ামের তড়িৎ-ক্ষরণ ক্ষমতা (dischange potential) সোডিয়ামের চেয়ে বেশি, ফলে Ca^{2+} আয়নের পরিবর্তে Na^+ আয়নগুলি ক্যাথোডে ইলেকট্রন গ্রহণ করে সোডিয়াম ধাতুতে পরিণত হয় ও অ্যানোডে Cl^- আয়নগুলি ইলেকট্রন ত্যাগ করে ক্লোরিন গ্যাসে পরিণত হয়।

$$NaCl \rightleftharpoons Na^+ + Cl^-$$

ক্যাথোড ঃ $Na^+ + e = Na,$ অ্যানোড ঃ $2Cl^- - 2e = Cl_2\uparrow$

(B) পদ্ধতি ঃ (i) 34% সোডিয়াম ক্লোরাইডের সঙ্গে এর প্রায় 66% অনার্দ্র ক্যালশিয়াম ক্লোরাইড মিশিয়ে ফায়ার-ব্রিকসের আস্তরণ যুক্ত একটি লোহার ট্যাঙ্কের মধ্যে তাপ প্রয়োগে মিশ্রণটিকে গলানো হয়। পরে অবশ্য তড়িৎ-প্রবাহের সাহায্যে মিশ্রণটিকে গলিত অবস্থায় রাখা হয়। **(ii)** ট্যাঙ্কের নীচ থেকে একটি **প্রশস্ত গ্রাফাইট দণ্ড** ভিতরে প্রবেশ করানো থাকে। **এটি অ্যানোডরূপে ব্যবহৃত হয়। (iii)** অ্যানোডটিকে ঘিরে একটি গোলাকার লোহার পাত ক্যাথোড হিসাবে রাখা হয়। **(iv)** সমগ্র ক্যাথোডের উপরের অংশে একটি ঢাকনা লাগানো থাকে। এই ঢাকনার সঙ্গে একটি সাইফন নল জুড়ে দিয়ে একটি কেরোসিনপূর্ণ পাত্রের সঙ্গে যোগ করা হয়। **(v)** অ্যানোডের ঠিক উপরে পোর্সেলিনের তৈরি বড়ো একটি ঢাকনা থাকে। **(vi)** ক্যাথোড ও অ্যানোডকে সরু লোহার তারজালি দিয়ে পৃথক করে রাখা হয়। এর ফলে ক্যাথোডে উৎপন্ন সোডিয়াম অ্যানোডে যেতে পারে না। **(vii)** ক্যাথোড ও অ্যানোডের ভেতর দিয়ে তড়িৎ-প্রবাহ করলে ক্যাথোডে সোডিয়াম উৎপন্ন হয়। অ্যানোডে উৎপন্ন ক্লোরিন পোর্সেলিন ঢাকনার মধ্য দিয়ে বেরিয়ে যায়।



চিত্র 2.10 ঃ ডাউন পদ্ধতি

(C) সংগ্রহ ঃ উৎপন্ন সোডিয়াম গলিত অবস্থায় ক্যাথোডের উপরে ঢাকনার নীচে জমা হয়। যথেষ্ট পরিমাণ সোডিয়াম জমা হলে সাইফন নলের সাহায্যে জমে থাকা Na ধাতুকে সাইফন করে বাইরে এনে কেরোসিনপূর্ণ পাত্রের মধ্যে রাখা হয়।

● **ডাউন পদ্ধতিতে (চিত্র 2.10) সোডিয়াম ধাতু নিষ্কাশনে NaCl-এর সঙ্গে অনার্দ্র $CaCl_2$ মেশানো হয়,** এর কারণ হল, NaCl-এর গলনাঙ্ক অনেক বেশি (820°C)। এখন 34% অনার্দ্র NaCl-এর সঙ্গে 66% অনার্দ্র $CaCl_2$ বা সোডিয়াম ফ্লুওরাইড NaF, বা পটাশিয়াম ক্লোরাইড যোগ করলে মিশ্রণটির গলনাঙ্ক 600°C হয়, তাই NaCl-এর মিশ্রণটি মাত্র 600°C উষ্ণতায় গলে যায়, ফলে **(i)** তড়িদ্‌বিশ্লেষণে কম তড়িৎশক্তি খরচ হয়। **(ii)** এই উষ্ণতায় উৎপন্ন Na বাষ্পীভূত হয়ে মারাত্মক ধোঁয়াশার সৃষ্টি করে না বা গলিত NaCl-এর সঙ্গে কলয়েড সৃষ্টি করে না, ফলে উৎপন্ন সোডিয়ামের অপচয় হয় না। **(iii)** এই উষ্ণতায় (600°C) গলিত NaCl এবং উৎপন্ন ক্লোরিনের ক্ষয়কারক ক্ষমতা অনেক কমে যায় ফলে তড়িদ্দ্বারগুলি ক্ষয় পায় না। **(iv)** তড়িদ্‌বিশ্লেষণে উৎপন্ন ধাতব সোডিয়াম গলিত অবস্থায় গলিত তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য NaCl-এর উপর পৃথক স্তরে জমা হয় ফলে Na ধাতুকে সহজে সংগ্রহ করা যায়। **(v)** দ্বিযোজী Ca^{2+} আয়নের উপস্থিতির জন্য একা গলিত NaCl-এর চেয়ে এই মিশ্রণের তড়িৎ পরিবাহিতা বেশি হয়। এই সব কারণের জন্য ডাউন পদ্ধতিতে Na ধাতু নিষ্কাশনে NaCl-এর সঙ্গে $CaCl_2$ মেশানো হয়।

● সোডিয়াম ক্লোরাইড থেকে ধাতব সোডিয়াম নিষ্কাশন (ডাউন পদ্ধতি) সংক্রান্ত বিভিন্ন তথ্য ঃ

(1) তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যরূপে ব্যবহৃত উপাদানগুলির সংযুতি	সোডিয়াম ক্লোরাইড (34%) এবং অনার্দ্র ক্যালশিয়াম ক্লোরাইড (66%)-এর গলিত মিশ্রণ।
(2) ব্যবহৃত তড়িদ্দ্বারের প্রকৃতি।	আয়রনের ক্যাথোড এবং গ্রাফাইটের অ্যানোড।
(3) তড়িদ্‌বিশ্লেষণের উষ্ণতা।	প্রায় 600°C।
(4) তড়িদ্দ্বারে সংঘটিত রাসায়নিক বিক্রিয়া।	**ক্যাথোডে ঃ** গলিত মিশ্রণের Na^+ আয়নগুলি ক্যাথোডে e গ্রহণ করে ধাতব Na-তে পরিণত হয়। $Na^+ + e \rightarrow Na$ **অ্যানোডে ঃ** মিশ্রণের Cl^- আয়নগুলি অ্যানোডে যায় এবং বাড়তি e বর্জন করে Cl_2-তে পরিণত হয়। $Cl - e \rightarrow Cl$; $Cl + Cl = Cl_2\uparrow$
(5) তড়িদ্‌বিশ্লেষণে প্রাপ্ত উপজাত দ্রব্য এবং ব্যবহার।	অ্যানোডে উপজাত দ্রব্যরূপে Cl_2 গ্যাস পাওয়া যায়। HCl-এর শিল্প উৎপাদনে, ব্লিচিং পাউডার প্রস্তুতে এবং জারকরূপে ব্যবহৃত হয়।
(6) সোডিয়ামের সংগ্রহ।	ক্যাথোডের ওপরে রাখা কেরোসিনপূর্ণ সাইফন নলের সাহায্যে ক্যাথোডে উৎপন্ন ধাতব সোডিয়ামকে তড়িদ্‌বিশ্লেষণ পাত্র থেকে বাইরে এনে কেরোসিনপূর্ণ পাত্রের মধ্যে ডুবিয়ে রাখা হয়।

● কাস্টনার পদ্ধতি এবং ডাউন পদ্ধতির তুলনা ঃ

কাস্টনার পদ্ধতি	ডাউন পদ্ধতি
(1) তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য ঃ গলিত NaOH তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থ রূপে ব্যবহৃত হয়।	**(1)** গলিত NaCl এবং অনার্দ্র $CaCl_2$-এর মিশ্রণকে তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যরূপে ব্যবহার করা হয়।
(2) গলনাঙ্ক ঃ NaOH-এর গলনাঙ্ক 320°C—330°C। সুতরাং কম উষ্ণতায় NaOH-এর তড়িদ্‌বিশ্লেষণ হয়, ফলে উৎপন্ন সোডিয়াম বাষ্পীভূত হয়ে নষ্ট হয় না।	**(2)** NaCl এবং $CaCl_2$-এর মিশ্রণের গলনাঙ্ক 600°C। তাই বেশি তড়িৎশক্তি খরচ হয়। কিছুটা উৎপন্ন সোডিয়াম বাষ্পীভূত হয়ে নষ্ট হয়।
(3) উৎস ঃ NaOH প্রকৃতিতে পাওয়া যায় না—একে NaCl-এর তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করে উৎপন্ন করতে হয়। তাই NaOH-এর দাম বেশি।	**(3)** NaCl-কে প্রচুর পরিমাণে প্রকৃতির মধ্যে পাওয়া যায়, তাই সস্তা।
(4) লোহার তৈরি ট্যাঙ্ক তড়িদ্‌বিশ্লেষণের পাত্ররূপে ব্যবহৃত হয়।	**(4)** ফায়ার ব্রিকসের আস্তরণযুক্ত লোহার ট্যাঙ্ক তড়িদ্‌বিশ্লেষণের পাত্ররূপে ব্যবহৃত হয়।
(5) ক্যাথোড হিসাবে স্টিলের দণ্ড এবং অ্যানোড হিসাবে নিকেলের চোঙ ব্যবহৃত হয়।	**(5)** ক্যাথোড হিসাবে লোহার গোলাকার পাত এবং অ্যানোড হিসাবে গ্রাফাইট দণ্ড ব্যবহৃত হয়।
(6) ক্যাথোডে Na এবং H_2 এবং অ্যানোডে O_2 মুক্ত হয়।	**(6)** ক্যাথোডে Na এবং অ্যানোডে Cl_2 মুক্ত হয়।
(7) সচ্ছিদ্র হাতার সাহায্যে উৎপন্ন Na-কে সংগ্রহ করা হয়।	**(7)** কেরোসিন সাইফনের সাহায্যে নিজে থেকেই কেরোসিনের মধ্যে জমা হয়।
(8) ব্যবহৃত তড়িৎশক্তির 50% Na নিষ্কাশনে খরচ হয়, বাকি 50% তড়িৎশক্তি উৎপন্ন জলের তড়িদ্‌বিশ্লেষণে খরচ হয়। ফলে সোডিয়াম নিষ্কাশনে খরচ বেশি পড়ে।	**(8)** ব্যবহৃত তড়িৎশক্তির সবটাই Na উৎপাদনে ব্যবহৃত হয়। তাই খরচ কম পড়ে।

● **ডাউন পদ্ধতিতে Na ধাতু নিষ্কাশনে অনার্দ্র $CaCl_2$-এর পরিবর্তে $MgCl_2$ ব্যবহার করা যায় না**, এর কারণ হল, গলিত NaCl-এর মধ্যে অনার্দ্র $MgCl_2$ উপস্থিত থাকলে NaCl-এর গলনাঙ্ক অনেক কমে যায় বটে, তবু $MgCl_2$ ব্যবহার করা হয় না, কারণ, Mg-এর বিজারণ বিভব সোডিয়ামের বিজারণ বিভবের চেয়ে বেশি। তড়িৎ বিভব শ্রেণিতে Mg-এর স্থান Na-এর নীচে। ফলে তড়িৎ চালনা করলে Na^+ আয়নের পরিবর্তে Mg^{2+} আয়ন ক্যাথোডে ইলেকট্রন গ্রহণ করে বিজারিত হয়ে Mg ধাতুতে পরিণত হয়। ফলে সোডিয়াম ধাতু পাওয়া যায় না।

● **সোডিয়াম ক্লোরাইডের জলীয় দ্রবণের তড়িদ্‌বিশ্লেষণে ধাতব সোডিয়াম উৎপন্ন হয় না**, এর কারণ হল—NaCl-এর জলীয় দ্রবণে NaCl অণুগুলি বিয়োজিত হয়ে Na^+ এবং Cl^- আয়নরূপে দ্রবণে থাকে। এই সঙ্গে দুর্বল তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থ জলের সামান্য অংশ বিয়োজিত হয়ে H^+ এবং OH^- আয়ন উৎপন্ন করে। এই অবস্থায় দ্রবণে তড়িৎপ্রবাহ করলে ক্যাথোডের দিকে Na^+ এবং H^+ আয়নগুলি যায় এবং যেহেতু হাইড্রোজেনের চেয়ে Na তীব্র ইলেকট্রোপজিটিভ, তাই ক্যাথোডে Na^+ আয়ন মুক্ত হয় না, দ্রবণেই থেকে যায়। হাইড্রোজেন, সোডিয়ামের চেয়ে অনেক কম ইলেকট্রোপজিটিভ বলে H^+ আয়নগুলি ক্যাথোডে যায় এবং ইলেকট্রন গ্রহণ করে H_2 গ্যাসরূপে মুক্ত হয়।

যেহেতু দ্রবণটি গাঢ়, তাই দ্রবণে Cl^- আয়নের আধিক্য থাকার জন্য অ্যানোডে OH^- আয়নের পরিবর্তে Cl^- আয়ন মুক্ত হয়ে Cl_2 উৎপন্ন করে। সুতরাং দ্রবণে Na^+ এবং OH^- আয়ন থেকে যায় ফলে NaOH উৎপন্ন হয়।

$$NaCl \rightleftharpoons Na^+ + Cl^- \quad ; \quad H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$$

ক্যাথোড : $2H^+ + 2e = H_2$ **অ্যানোড :** $2Cl^- - 2e = Cl_2$,

$$Na^+ + OH^- = NaOH$$

এইভাবে উৎপন্ন NaOH-এর সঙ্গে Cl_2-এর বিক্রিয়ায় সোডিয়াম ক্লোরাইড, সোডিয়াম হাইপোক্লোরাইট এবং সোডিয়াম ক্লোরেটের একটি মিশ্রণ উৎপন্ন করে।

● **গলিত NaOH-এর তড়িদ্‌বিশ্লেষণে (কাস্টনার পদ্ধতি) নিকেল অ্যানোড ব্যবহৃত হয় অথচ ডাউন পদ্ধতিতে গলিত NaCl ও $CaCl_2$-এর তড়িদ্‌বিশ্লেষণে গ্রাফাইট অ্যানোড ব্যবহৃত হয়।** এর কারণ হল, গলিত NaOH-এর তড়িদ্‌বিশ্লেষণে অ্যানোডে O_2 নির্গত হয় যা উচ্চ উষ্ণতায় গ্রাফাইট (কার্বন) অ্যানোডকে আক্রমণ করে। তাই গলিত NaOH-এর তড়িদ্‌বিশ্লেষণে গ্রাফাইট অ্যানোড ব্যবহার করা হয় না। ডাউন পদ্ধতিতে NaCl-এর তড়িদ্‌বিশ্লেষণে অ্যানোডে Cl_2 উৎপন্ন হয়। এই মুক্ত Cl_2 নিকেলের সঙ্গে বিক্রিয়া করে নিকেল ক্লোরাইড উৎপন্ন করে। এই কারণে ডাউন পদ্ধতিতে নিকেল অ্যানোড ব্যবহার করা হয় না। Cl_2-এর সঙ্গে কার্বনের বিক্রিয়া হয় না তাই এক্ষেত্রে গ্রাফাইট অ্যানোড ব্যবহার করা হয়।

● **উৎপন্ন Na-কে কেরোসিনে ডুবিয়ে রাখা হয়।** সোডিয়াম তীব্র ইলেকট্রোপজিটিভ মৌল, তাই খুব সক্রিয়। সাধারণ উষ্ণতাতেই বায়ুর O_2, কার্বন ডাইঅক্সাইড এবং জলীয় বাষ্পের সঙ্গে বিক্রিয়া করে কিন্তু কেরোসিনের সঙ্গে বিক্রিয়া করে না। তাই উৎপন্ন Na যেন বায়ু বা জলীয় বাষ্পের সংস্পর্শে না আসতে পারে, তাই Na-কে কেরোসিনে ডুবিয়ে রাখা হয়।

2.8. সোডিয়ামের ধর্ম [Properties of Sodium]

(A) ভৌত ধর্ম : সোডিয়াম খুব **নরম, রুপোর মতো উজ্জ্বল সাদা ধাতু**, ছুরি দিয়ে কাটা যায়। আপেক্ষিক গুরুত্ব 0·97 অর্থাৎ জলের চেয়ে হালকা। **গলনাঙ্ক** 98°C, **স্ফুটনাঙ্ক** 883°C। সোডিয়াম **তাপ ও বিদ্যুতের সুপরিবাহী**। বাষ্পের শিখার বর্ণ সোনালী হলুদ।

(B) রাসায়নিক ধর্ম :

(1) বায়ুর সঙ্গে : (i) সম্পূর্ণ শুষ্ক বায়ু বা অক্সিজেনের সঙ্গে সোডিয়ামের কোনো বিক্রিয়া হয় না।

(ii) আর্দ্র বায়ুর সংস্পর্শে সোডিয়ামের ওপরে **সোডিয়াম মনোক্সাইডের আস্তরণ** পড়ে। সোডিয়াম মনোক্সাইড জলীয় বাষ্পের সঙ্গে বিক্রিয়া করে **হাইড্রক্সাইডে** পরিণত হয়, পরে এই হাইড্রক্সাইড বায়ুর CO_2-কে শোষণ করে **কার্বনেটে** পরিণত হয়। $4Na + O_2 = 2Na_2O$, $Na_2O + H_2O = 2NaOH$, $2NaOH + CO_2 = Na_2CO_3 + H_2O$

(iii) বায়ুর মধ্যে বা অক্সিজেনের মধ্যে **সোডিয়াম জ্বালালে** সোনালী হলুদ শিখায় জ্বলে **মনোক্সাইড ও পারক্সাইডে** পরিণত হয়। $4Na + O_2 = 2Na_2O$, $2Na + O_2 = Na_2O_2$

(2) জলের সঙ্গে : (i) সাধারণ উষ্ণতায় জলের সংস্পর্শে সোডিয়াম এলে তীব্র বিক্রিয়া হয় এবং বিক্রিয়ার ফলে **হাইড্রক্সাইড ও হাইড্রোজেন** উৎপন্ন হয়। বিক্রিয়াটি দ্রুত হয় এবং বিক্রিয়াটি তাপ উৎপাদক বলে প্রচুর তাপ উৎপন্ন করে, যার ফলে উৎপন্ন H_2 জ্বলে ওঠে। $2Na + 2H_2O = 2NaOH + H_2$

(ii) পারদের মধ্যে ধাতব সোডিয়াম সহজে দ্রবীভূত হয়ে পারদ সংকর গঠন করে। একে **সোডিয়াম অ্যামালগাম** বলে। অ্যামালগাম খুব সহজে জল বা লঘু অ্যাসিড দ্বারা বিশ্লিষ্ট হয়ে H_2 এবং Hg উৎপন্ন করে।

(3) হ্যালোজেনের সঙ্গে ঃ ফ্লুওরিনের **সংস্পর্শে সোডিয়াম এলেই** তীব্রভাবে জ্বলে ওঠে এবং হলুদ শিখায় জ্বলে **সোডিয়াম ফ্লুওরাইড লবণ** উৎপন্ন করে। উত্তপ্ত অবস্থায় ক্লোরিনের সঙ্গে বিক্রিয়ায় হলুদ বর্ণের শিখা উৎপন্ন করে জ্বলতে থাকে এবং **সোডিয়াম ক্লোরাইড** উৎপন্ন করে। ব্রোমিন এবং আয়োডিনের সঙ্গে বিক্রিয়ায় যথাক্রমে **ব্রোমাইড ও আয়োডাইড লবণ** উৎপন্ন করে। $2Na + Cl_2 = 2NaCl$, $2Na + Br_2 = 2NaBr$, $2Na + F_2 = 2NaF$

(4) হাইড্রোজেনের সঙ্গে ঃ 360°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত **সোডিয়াম, হাইড্রোজেনের** সঙ্গে যুক্ত হয়ে **সোডিয়াম হাইড্রাইড** উৎপন্ন করে। $2Na + H_2 = 2NaH$, $NaH + H_2O = NaOH + H_2$

উৎপন্ন সোডিয়াম হাইড্রাইডের সঙ্গে জলের বিক্রিয়ায় **সোডিয়াম হাইড্রক্সাইড ও হাইড্রোজেন** পাওয়া যায়।

[গলিত সোডিয়াম হাইড্রাইডের তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করলে ক্যাথোডে সোডিয়াম এবং অ্যানোডে হাইড্রোজেন মুক্ত হয়। এর দ্বারা প্রমাণিত হয় H_2 সোডিয়ামকে জারিত করে নিজে বিজারিত হয়।

$Na - e = Na^+$ (জারণ); $H + e = H^-$ (বিজারণ); $Na^+ + H^- = NaH$]

(5) অ্যামোনিয়ার সঙ্গে ঃ 300°C—400°C উষ্ণতায় ধাতব সোডিয়ামকে উত্তপ্ত করে অ্যামোনিয়া গ্যাস চালনা করলে সোডামাইড উৎপন্ন হয়। $2Na + 2NH_3 = 2NaNH_2 + H_2$

অ্যামাইডকে জলের সঙ্গে বিক্রিয়া করালে $\mathbf{NH_3}$ এবং সোডিয়াম **হাইড্রক্সাইড** উৎপন্ন হয়।

$$NaNH_2 + H_2O = NaOH + NH_3\uparrow$$

(6) বিজারণ ক্রিয়া ঃ সোডিয়াম তীব্র বিজারক। (i) জ্বলন্ত সোডিয়াম, কার্বন ডাইঅক্সাইডকে বিজারিত করে কার্বনের কালো সূক্ষ্ম কণা উৎপন্ন করে। (ii) অ্যালুমিনিয়াম ক্লোরাইডের সঙ্গে ধাতব সোডিয়াম উত্তপ্ত করলে ধাতব অ্যালুমিনিয়াম উৎপন্ন করে।

$3CO_2 + 2Na = 2NaCO_3 + C$ $\quad AlCl_3 + 3Na = 3NaCl + Al$

তড়িৎ-রাসায়নিক শ্রেণিতে যে সমস্ত ধাতুগুলি Na-এর নীচে আছে, বায়ুর অবর্তমানে সেই ধাতুর যৌগের মধ্যে Na যোগ করে উত্তপ্ত করলে ধাতুগুলির যৌগ বিজারিত হয়ে ধাতুমুক্ত হয়।

$$ZnSO_4 + 2Na = Na_2SO_4 + Zn\uparrow$$

(7) অ্যালকোহলের সঙ্গে ঃ অ্যালকোহলের সঙ্গে বিক্রিয়া করে অ্যালকোক্সাইড যৌগ এবং H_2 গ্যাস উৎপন্ন করে।

$2Na + 2C_2H_5OH = 2C_2H_5ONa + H_2$, $\quad 2Na + 2CH_3OH = 2CH_3ONa + H_2$

2.9. সোডিয়ামের ব্যবহার [Uses of Sodium]

(1) সোডিয়াম পারক্সাইড, সোডিয়াম সায়ানাইড প্রভৃতির পণ্য-উৎপাদনে; **(2)** ম্যাগনেশিয়াম, অ্যালুনিমিয়াম, বোরন, সিলিকন প্রভৃতি মৌলের নিষ্কাশনে; **(3) সোডিয়াম ও সোডিয়ামের অ্যামালগাম বিজারক রূপে ব্যবহৃত হয়; (4)** পরীক্ষাগারে জৈব পদার্থের বিশ্লেষণে; **(5) কৃত্রিম রবার** উৎপাদনে; **(6) উচ্চ উষ্ণতা মাপার জন্য থার্মোমিটার প্রস্তুতিতে; (7) লেড টেট্রাইথাইল** (পেট্রোলে অ্যান্টি নক যৌগরূপে ব্যবহৃত হয়) প্রস্তুতে; **(8) সোডিয়াম ভেপার ল্যাম্প** প্রস্তুতে ব্যবহৃত হয়।

● **সোডিয়ামের শনাক্তকরণ ঃ**

(i) সোডিয়াম লবণের জলীয় লবণ, পটাশিয়াম ডাই-হাইড্রোজেন অ্যান্টিমোনেট দ্রবণে যোগ করলে সাদা অধঃক্ষেপ পড়ে।

$$NaCl + KH_2SbO_4 = NaH_2SbO_4\downarrow + KCl$$

(ii) সোডিয়াম অথবা সোডিয়াম লবণ বার্নারের অদীপ্ত শিখায় সোনালী হলুদ বর্ণের শিখা উৎপন্ন করে।

অনুশীলনী

1. সোডিয়ামের প্রাকৃতিক উৎসগুলি কী? কস্টিক সোডা থেকে সোডিয়াম প্রস্তুতি বর্ণনা করো। এই পদ্ধতিটির সুবিধা এবং অসুবিধাগুলি উল্লেখ করো।

2. কাস্টনার পদ্ধতিতে সোডিয়াম নিষ্কাশনের সম্পর্কে নীচের তথ্যগুলি পরিবেশন করো—

(i) তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যরূপে ব্যবহৃত উপাদান, **(ii)** প্রয়োজনীয় উষ্ণতা, **(iii)** তড়িদ্দ্বার দুটির প্রকৃতি এবং তড়িদ্দ্বারে সংঘটিত রাসায়নিক বিক্রিয়াগুলি, **(iv)** ধাতুটির সংগ্রহ, **(v)** উপজাত গ্যাস, **(vi)** অপচয়, **(vii)** কার্বন বিজারণ দ্বারা সোডিয়াম নিষ্কাশন করা যায় না কেন?

3. (a) সোডিয়াম ক্লোরাইড থেকে সোডিয়াম নিষ্কাশন করার অসুবিধা কী কী? কী করে উক্ত অসুবিধাগুলি দূর করা যায়?

(b) সোডিয়াম ক্লোরাইডের জলীয় দ্রবণে তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করে ধাতব সোডিয়াম পাওয়া যাবে কী?—তোমার উত্তরের যথার্থতা বুঝিয়ে দাও। *[H.S. '99]*

4. খাদ্যলবণ থেকে তড়িদ্‌বিশ্লেষণ পদ্ধতিতে সোডিয়াম নিষ্কাশন সংক্রান্ত বিষয়ে নিম্নলিখিত তথ্যগুলি পরিবেশন করো—

(i) তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যরূপে ব্যবহৃত উপাদানসমূহের সংযুতি এবং তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থের উষ্ণতা। **(ii)** তড়িদ্দ্বারে সংঘটিত রাসায়নিক বিক্রিয়াসমূহ এবং তড়িদ্দ্বার দুটির প্রকৃতি। **(iii)** ধাতুটির সংগ্রহ। **(iv)** উপজাত দ্রব্য। **(v)** খাদ্য লবণের জলীয় দ্রবণে এই বিক্রিয়া ঘটলে কী হয়?

5. 'আকরিক হতে ধাতু নিষ্কাশন কার্যত ধাতব যৌগের বিজারণ'—সোডিয়াম ও কপার ধাতুর নিষ্কাশনের পরিপ্রেক্ষিতে এই উক্তির উপর মন্তব্য করো।

6. কী পরিবর্তন ঘটবে রাসায়নিক সমীকরণসহ উল্লেখ করো—

(i) ধাতব সোডিয়ামের উপর দিয়ে উত্তপ্ত অবস্থায় হাইড্রোজেন প্রবাহিত করা হল এবং উৎপন্ন পদার্থের সঙ্গে জল যোগ করা হল। **(ii)** সোডিয়াম নাইট্রেটের জলীয় দ্রবণে কস্টিক সোডা ও Al চূর্ণ যোগ করে উত্তপ্ত করা হল। **(iii)** সোডিয়াম নাইট্রেটকে উত্তপ্ত করা হল। **(iv)** জিঙ্ক সালফেট দ্রবণে অতিরিক্ত পরিমাণে কস্টিক সোডা দ্রবণ যোগ করা হল। পরে ওই দ্রবণে H_2S পাঠানো হল। **(v)** ধাতব সোডিয়ামকে মুক্ত অবস্থায় প্রকৃতির মধ্যে পাওয়া যায় না কেন? **(vi)** সোডিয়াম ক্লোরাইডের জলীয় দ্রবণে তড়িৎপ্রবাহ করা হল। **(vii)** Al চূর্ণের সঙ্গে গাঢ় কস্টিক সোডা মিশিয়ে উত্তপ্ত করা হল। **(viii)** সোডিয়াম নাইট্রেট, জিঙ্ক চূর্ণ ও কস্টিক সোডা দ্রবণ এক সাথে উত্তপ্ত করা হল। [*H.S. '02*], **(ix)** কস্টিক সোডা দ্রবণে Cl_2 গ্যাস চালনা করা হল। **(x)** 400°C উত্তপ্ত সোডিয়ামের উপর দিয়ে NH_3 গ্যাস চালনা করা হল এবং উৎপন্ন পদার্থে জল যোগ করা হল। [*H.S. '98*], **(xi)** ফেরাস সালফেট দ্রবণে সোডিয়াম নাইট্রেট দ্রবণ যোগ করে ওই মিশ্রণে সতর্কতার সঙ্গে গাঢ় H_2SO_4 যোগ করা হল। **(xii)** উত্তপ্ত সোডিয়ামের উপর দিয়ে CO_2 গ্যাস চালনা করা হল। **(xiii)** গলিত কস্টিক সোডার মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহ করা হল। **(xiv)** $NaNO_3$ তামার কুচি এবং গাঢ় H_2SO_4 মিশ্রণ উত্তপ্ত করা হল।

7. (a) সোডিয়াম কীভাবে নিষ্কাশিত হয়? নিম্নলিখিত পদার্থগুলির সঙ্গে সোডিয়াম কীভাবে বিক্রিয়া করে?

(i) হাইড্রোজেন, **(ii)** অক্সিজেন, **(iii)** অ্যামোনিয়া, **(iv)** কার্বন ডাই-অক্সাইড।

8. কারণ ব্যাখ্যা করো—

(i) গলিত সোডিয়াম ক্লোরাইডের তড়িদ্‌বিশ্লেষণে ধাতব Na উৎপন্ন হয়। কিন্তু সোডিয়াম ক্লোরাইডের জলীয় দ্রবণের তড়িদ্‌বিশ্লেষণে সোডিয়াম পাওয়া যায় না। **[*H.S. '97, '99*]**

(ii) ধাতব সোডিয়ামকে কেরোসিনের মধ্যে রাখা হয়। **[*H.S. '98*]**

(iii) সোডিয়াম নিষ্কাশনে NaOH-দ্রবণ ব্যবহার না করে, গলিত NaOH ব্যবহার করা হয়।

(iv) Al-এর পাত্রে কস্টিক সোডা রাখা যায় না। **[*H.S. '95*]**

(v) সোডিয়াম হাইড্রাইডকে তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করলে হাইড্রোজেন অ্যানোডে মুক্ত হয়।

(vi) গলিত NaCl থেকে সোডিয়াম প্রস্তুতিতে বেশ কিছু পরিমাণ ফ্লুওস্পার মেশানো হয়। **[*H.S. '89*]**

(vii) সোডিয়াম ধাতুতে আগুন লাগলে জল দিয়ে নেভানো যায় না।

(viii) ডাউনস পদ্ধতিতে সোডিয়াম নিষ্কাশনে লোহার অ্যানোড ব্যবহার করা হয় না। **[*H.S. '94*]**

(ix) কাস্টনার পদ্ধতিতে অ্যানোড হিসাবে নিকেল ব্যবহার করা হয়, কিন্তু ডাউনস পদ্ধতিতে গ্রাফাইট অ্যানোড ব্যবহার করা হয়।

(x) ডাউনস পদ্ধতিতে NaCl-এর সঙ্গে বেশি পরিমাণ $CaCl_2$ যোগ করলেও ক্যাথোডে Ca মুক্ত হয় না।

(xi) Na-কে কার্বন বিজারণ পদ্ধতিতে নিষ্কাশিত করা যায় না কিন্তু আয়রন সহজেই এই পদ্ধতিতে নিষ্কাশিত হয়।

(xii) তড়িদ্‌বিশ্লেষণ পদ্ধতিতে ধাতু নিষ্কাশনে গলিত ধাতব লবণকে তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যরূপে ব্যবহার করা হয়, লবণের জলীয় দ্রবণ ব্যবহার করা হয় না।

9. নীচের সঠিক উত্তর বা উত্তরগুলি নির্বাচন করো—

(i) ক্ষার ধাতুগুলির বৈশিষ্ট্য হল—

(a) তড়িতের সুপরিবাহী, **(b)** জারণ বিভব উচ্চ, **(c)** উচ্চ গলনাঙ্ক, **(d)** তরল অ্যামোনিয়ায় দ্রাব্য। [*Ans.* (a), (b), (d)]

(ii) সোডিয়ামের ধাতবদ্যুতির কারণ ব্যাখ্যা করা যায়— **(a)** Na^+ আয়নের ব্যাপন দ্বারা, **(b)** মুক্ত ইলেকট্রনের কম্পন দ্বারা, **(c)** উত্তেজিত মুক্ত প্রোটন দ্বারা, **(d)** কিউবিক ল্যাটিসের উপস্থিতি দ্বারা। [*Ans.* (b)]

(iii) যখন NaCl জলে দ্রবীভূত হয়, তখন Na^+ আয়নগুলি—

(a) আর্দ্র-বিশ্লেষিত হয়, **(b)** জলযুক্ত হয়, **(c)** জারিত হয়, **(d)** বিজারিত হয়। [*Ans.* (b)]

(iv) গলিত NaCl তড়িৎ পরিবহণ করে—

(a) মুক্ত ইলেকট্রনের জন্য, **(b)** মুক্ত আয়নের জন্য, **(c)** মুক্ত অণুর জন্য, **(d)** Na এবং Cl পরমাণুর উপস্থিতির জন্য। [*Ans.* (b)]

(v) যে দুটি যৌগ দ্রবণে একসঙ্গে থাকতে পারে না, তা হল—

(a) $NaHCO_3$ এবং NaOH, **(b)** $NaHCO_3$ এবং H_2O, **(c)** $NaHCO_3$ এবং Na_2CO_3, **(d)** Na_2CO_3 এবং NaOH. [*Ans.* (a)]

●ক্যালশিয়াম ধাতু●

চিহ্ন ঃ Ca, আণবিক ভর ঃ 40, পারমাণবিক সংখ্যা ঃ 20, ইলেকট্রন বিন্যাস ঃ [Ar] $4s^2$

2.10. প্রকৃতিতে ক্যালশিয়ামের অবস্থান [Occurrence of calcium in nature]

সক্রিয় মৌল বলে ক্যালশিয়াম প্রকৃতিতে মুক্তাবস্থায় পাওয়া যায় না। ক্যালশিয়ামের প্রধান আকরিকগুলি নীচে দেওয়া হল—

(i) কার্বনেট—চক, চুনাপাথর (lime stone), মার্বেল (Marble), ক্যালসাইট (Calcite)—$CaCO_3$, ডলোমাইট (Dalomite)—$CaCO_3$, $MgCO_3$

(ii) সালফেট—অ্যানহাইড্রাইট (Anhydrite)—$CaSO_4$, জিপসাম (Gypsum)—$CaSO_4$, $2H_2O$

(iii) ফ্লুওরাইড—ফ্লুওস্পার (Fluospar)—CaF_2

(iv) ফসফেট—ফসফোরাইট (Phosphorite)—$Ca_3(PO_4)_2$.

ভারতে পাঞ্জাব, মধ্যপ্রদেশ এবং উত্তরপ্রদেশে জিপসাম আকরিক এবং বিহারে চুনাপাথর ও ডলোমাইট পাওয়া যায়।

2.11. ক্যালশিয়াম নিষ্কাশন [Extraction of calcium]

ক্যালশিয়াম একটি তীব্র ইলেকট্রোপজিটিভ ধাতু—তাই এর কার্বনেট আকরিক তাপজারণের ফলে অক্সাইডে পরিণত হলেও, সেই অক্সাইড থেকে কার্বন বিজারণ পদ্ধতিতে Ca ধাতু নিষ্কাশন করা যায় না। খুব বেশি উষ্ণতা প্রয়োগ করলেও ধাতব Ca-এর পরিবর্তে **ক্যালশিয়াম কার্বাইড** পাওয়া যাবে। সেজন্য **তড়িৎ বিজারণ প্রক্রিয়ায় অনার্দ্র ক্লোরাইড থেকে ধাতব ক্যালশিয়াম নিষ্কাশন করা হয়।**

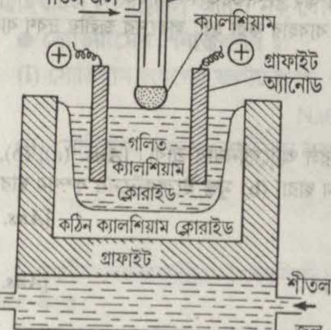
1. তড়িৎ বিজারণ পদ্ধতি ঃ

(A) নীতি ঃ অনার্দ্র ক্যালশিয়াম ক্লোরাইডকে তাপ প্রয়োগে বিগলিত করলে, গলিত অবস্থায় $CaCl_2$, Ca^{2+} এবং $2Cl^-$ আয়নে বিয়োজিত হয়ে যায়। এই অবস্থায় তড়িদ্দ্বারের সাহায্যে গলিত $CaCl_2$-এর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ করলে, ক্যাথোডে Ca^{2+} আয়নগুলি যায় এবং ইলেকট্রন গ্রহণ করে বিজারিত হয়ে ধাতব Ca-রূপে ক্যাথোডে জমা হয়। Cl^- আয়নগুলি অ্যানোডে ইলেকট্রন বর্জন করে Cl_2 গ্যাসরূপে বেরিয়ে যায়।

$$CaCl_2 \rightleftharpoons Ca^{2+} + 2Cl^-$$

ক্যাথোডে ঃ $Ca^{2+} + 2e = Ca$ (বিজারণ) ; **অ্যানোডে ঃ** $2Cl^- - 2e = Cl_2 \uparrow$ (জারণ)

ক্যালশিয়াম ক্লোরাইডের গলনাঙ্ক প্রায় 780°C, এই উচ্চ উষ্ণতায় $CaCl_2$-কে বিগলিত করতে তড়িৎশক্তির খরচ বেশি হয়। তাই $CaCl_2$-এর সঙ্গে ফ্লুওস্পার (CaF_2) যোগ করা হয়। এর ফলে $CaCl_2$-এর গলনাঙ্ক 780°C থেকে প্রায় 664°C-এ নেমে আসে, ফলে অপেক্ষাকৃত কম তাপমাত্রায় তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করা সম্ভব হয়।



চিত্র 2.11 ঃ ধাতব ক্যালশিয়াম নিষ্কাশন

(B) পদ্ধতি ঃ (i) তড়িদ্‌বিশ্লেষণের জন্য **পুরু গ্রাফাইটের আস্তরণ দেওয়া আয়রনের পাত্র ব্যবহার করা হয়।**

(ii) এই পাত্রের মধ্যে তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থরূপে **ক্যালশিয়াম ক্লোরাইড** এবং **ক্যালশিয়াম ফ্লুওরাইডের মিশ্রণ** 6 ঃ 1 ওজন অনুপাতে নেওয়া হয়। মিশ্রণটিকে তড়িৎপ্রবাহের সাহায্যে 700°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত করে গলানো হয়।

(iii) পাত্রটির নীচের অংশে ঠান্ডা জলের ধারা প্রবাহিত করে রাখা হয়। এর ফলে মিশ্রণটির কিছুটা জমে পাত্রটির ভেতরের গায়ে একটি আস্তরণের সৃষ্টি করে। **এর ফলে মূল্যবান গ্রাফাইটের ক্ষয় অনেকটা নিবারিত হয়।**

(iv) দুটি গ্রাফাইট দণ্ড গলিত তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যের মধ্যে আংশিক ডুবানো থাকে। এই গ্রাফাইট দণ্ড দুটি **অ্যানোড** (Anode) রূপে ব্যবহৃত হয়।

(v) লোহার একটি ফাঁপা নল পাত্রটির মাঝখানে গলিত তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যকে স্পর্শ করে ঝোলানো অবস্থায় রাখা হয়। এই লোহার নলটি **ক্যাথোড** (Cathode) রূপে ব্যবহৃত হয়। ফাঁপা নলটির মধ্যে ঠান্ডা জলের ধারা প্রবাহিত করে নলটিকে ঠান্ডা রাখা হয়। একটি স্বয়ংক্রিয় স্ক্রু-র সাহায্যে এই লোহার নলটিকে ধীরে ধীরে উপরে ওঠাবার ব্যবস্থা আছে।

(vi) গলিত মিশ্রণটির মধ্য দিয়ে তড়িৎপ্রবাহ চালনা করলে **অ্যানোডে ক্লোরিন মুক্ত হয়** এবং গ্যাসরূপে বেরিয়ে যায় এবং দামী উপজাত হিসাবে শিল্পে ব্যবহৃত হয়।

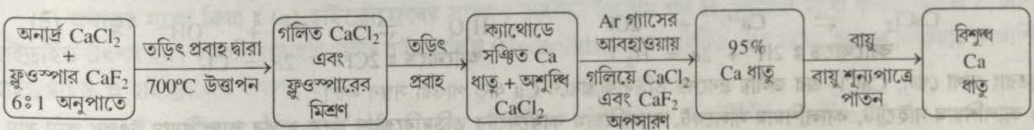
(vii) ক্যাথোডে ধাতব ক্যালশিয়াম মুক্ত হয় এবং ক্যাথোডের প্রান্তে (লোহার নলটির প্রান্তে) কঠিন অবস্থায় জমা হয়, কারণ ক্যালশিয়ামের গলনাঙ্ক 851ºC। লোহার ক্যাথোডে যত ধাতব Ca জমতে থাকে, স্বয়ংক্রিয় স্ক্রু-এর সাহায্যে লোহার ক্যাথোডটিকে ধীরে ধীরে উপরের দিকে ওঠানো হতে থাকে—এই অবস্থায় ক্যাথোডে জমে থাকা Ca ধাতু গলিত তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যের সংস্পর্শে থেকে ক্যাথোডের কাজ করে এবং Ca ধাতুর উপরই আরও Ca ধাতু জমতে থাকে। এর ফলে একটি দণ্ডের আকারে ক্যালশিয়াম ধাতুকে পাওয়া যায়।

(viii) এইভাবে উৎপন্ন ক্যালশিয়াম দণ্ডটির চারপাশে গলিত $CaCl_2$-এর স্তর দ্বারা ঢাকা থাকে বলে উৎপন্ন Ca বায়ুর অক্সিজেন বা নাইট্রোজেন অথবা অ্যানোডে উৎপন্ন Cl_2 দ্বারা আক্রান্ত হয় না।

বেশ কিছু পরিমাণ Ca ধাতু জমা হয়ে গেলে পর, উৎপন্ন Ca-কে সরিয়ে নিয়ে, লোহার ক্যাথোডটিকে আবার তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যের সঙ্গে স্পর্শ করিয়ে রাখা যায় এবং আরও Ca সংগ্রহ করা যায়।

(C) বিশুদ্ধিকরণ ঃ এইভাবে উৎপন্ন ক্যালশিয়ামকে লোহার পাত্রের মধ্যে **আর্গন গ্যাসের** আবহাওয়ায় গলিয়ে ওর গায়ে লেগে থাকা $CaCl_2$ এবং CaF_2-কে দূর করা হয়। এরপর বায়ুশূন্য পাত্রে 800ºC উষ্ণতায় পাতন করে বিশুদ্ধ ক্যালশিয়াম ধাতু পাওয়া যায়।

● **অনার্দ্র ক্যালশিয়াম ক্লোরাইডের তড়িৎ-বিজারণ দ্বারা ক্যালশিয়াম ধাতু নিষ্কাশন ঃ**



(2) অ্যালুমিনিয়াম ধাতু দ্বারা ক্যালশিয়াম অক্সাইডের বিজারণ দ্বারা ঃ খুব বিশুদ্ধ চুনের সঙ্গে অ্যালুমিনিয়াম চূর্ণ মিশিয়ে মিশ্রণটিকে এই ইস্পাতের রেটর্টের মধ্যে রেখে বায়ুর সম্পূর্ণ অনুপস্থিতিতে তীব্রভাবে উত্তপ্ত করলে CaO অ্যালুমিনিয়াম দ্বারা বিজারিত হয়ে ধাতব ক্যালশিয়ামে পরিণত হয়, যা পাতিত হয়ে বায়ুশূন্য গ্রাহকের মধ্যে জমা হয়।

$$3CaO + 2Al = Al_2O_3 + 3Ca \downarrow$$

বর্তমানে এই পদ্ধতি দ্বারা ধাতব ক্যালশিয়াম উৎপন্ন করা হয়।

● **ক্যালশিয়াম ধাতু নিষ্কাশন সংক্রান্ত বিভিন্ন তথ্য ঃ**

(1) ব্যবহৃত কাঁচামাল ঃ চুনাপাথর বা মার্বেল, মার্বেলের সঙ্গে লঘু HCl-এর বিক্রিয়া দ্বারা $CaCl_2$ প্রস্তুত করা হয়—একে তাপ প্রয়োগে অনার্দ্র $CaCl_2$ পাওয়া যায়।

(2) তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যরূপে ব্যবহৃত উপাদানগুলির সংযুতি ঃ অনার্দ্র ক্যালশিয়াম ক্লোরাইড এবং অল্প পরিমাণ ক্যালশিয়াম ফ্লুওরাইডের মিশ্রণ 6 ঃ 1 ওজন অনুপাতে নেওয়া হয়। এই মিশ্রণ তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যরূপে ব্যবহৃত হয়।

(3) ব্যবহৃত তড়িদ্দ্বার দুটির প্রকৃতি ঃ গ্রাফাইটের অ্যানোড, ফাঁপা লোহার দণ্ড ক্যাথোড রূপে ব্যবহৃত হয়।

(4) তড়িদ্‌বিশ্লেষণের উষ্ণতা ঃ প্রায় 700ºC।

(5) তড়িদ্দ্বারে সংঘটিত বিক্রিয়া ঃ

ক্যাথোডে ঃ Ca^{2+} আয়ন ক্যাথোডে যায় এবং ইলেকট্রন গ্রহণ করে ধাতব Ca রূপে জমা হয়। $Ca^{2+} + 2e \rightarrow Ca$

অ্যানোডে ঃ Cl^- আয়ন যায় এবং ইলেকট্রন বর্জন করে Cl_2 গ্যাসে পরিণত হয়। $2Cl^- - 2e \rightarrow Cl_2\uparrow$

(6) উপজাত দ্রব্য এবং তার ব্যবহার ঃ অ্যানোডে ক্লোরিন গ্যাস উপজাত দ্রব্যরূপে পাওয়া যায়—ব্লিচিং পাউডার ও HCl-এর শিল্প উৎপাদনে ব্যবহৃত হয়।

(7) ধাতুর সংগ্রহ ঃ ক্যাথোডে (লোহার নলটির প্রান্তে) ধাতব ক্যালশিয়াম দণ্ডের আকারে জমতে থাকে। ওখান থেকে দণ্ডের আকারে Ca-কে সংগ্রহ করা হয় এবং বায়ুশূন্য অবস্থায় পাতন করে বিশুদ্ধ করা হয়।

● **কার্বন বিজারণ পদ্ধতিতে CaO থেকে ধাতব Ca নিষ্কাশন করা যায় না কেন?** প্রকৃতির মধ্যে প্রচুর চুনাপাথর ($CaCO_3$) পাওয়া যায়। একে উত্তপ্ত করে CaO পাওয়া যায়, কিন্তু উৎপন্ন CaO-কে কার্বন বিজারণ করে ধাতব Ca উৎপন্ন করা যায় না। এর কারণ, Ca

তীব্র ইলেকট্রোপজিটিভ ধাতু এবং অক্সিজেন একটি তীব্র ইলেকট্রোনেগেটিভ মৌল, তাই স্বাভাবিকভাবেই অক্সিজেনের প্রতি ক্যালশিয়ামের তীব্র আসক্তি আছে। তাই কার্বন, CaO থেকে অক্সিজেনকে বিচ্ছিন্ন করে নিজে গ্রহণ করে জারিত হয়ে CaO-কে বিজারিত করতে পারে না। তাছাড়া CaO এবং কার্বনের মিশ্রণকে উচ্চ উষ্ণতায় উত্তপ্ত করলে ধাতব Ca-এর পরিবর্তে **ক্যালশিয়াম কার্বাইড** উৎপন্ন হয়।

$$CaO + 3C = CaC_2 + CO\uparrow$$

● **ক্যালশিয়াম ধাতু নিষ্কাশনে তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যরূপে ব্যবহৃত ক্যালশিয়াম ক্লোরাইডের সঙ্গে ফ্লুওস্পার (CaF_2) মেশান হয় কেন?** এর কারণ হল, ক্যালশিয়াম ক্লোরাইডের গলনাঙ্ক প্রায় 780°C। এই উচ্চ উষ্ণতায় $CaCl_2$-কে গলাতে বেশি তড়িৎশক্তির দরকার হয়, ফলে উৎপাদন খরচ বেড়ে যায়। অনার্দ্র ক্যালশিয়াম ক্লোরাইডের সঙ্গে ফ্লুওস্পার মেশালে $CaCl_2$ 664°C তাপমাত্রায় গলে যায় এবং কম তাপমাত্রায় $CaCl_2$-এর তড়িদ্‌বিশ্লেষণ ঘটানো সম্ভব হয়। এতে তড়িৎশক্তির খরচ কম হয়, ফলে উৎপাদন খরচ কমে। এছাড়া CaF_2 মেশানোর ফলে গলিত তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যের সান্দ্রতা অনেক কমে যায় এবং তড়িৎ পরিবাহিতা বাড়ে।

● **$CaCl_2$ অথবা ক্যালশিয়ামের অন্যান্য জলে দ্রাব্য লবণের (জলীয় দ্রবণের) তড়িদ্‌বিশ্লেষণ দ্বারা ক্যালশিয়াম ধাতু পাওয়া যায় না কেন?** $CaCl_2$-এর জলীয় দ্রবণে, $CaCl_2$-এর অণুগুলি বিয়োজিত হয়ে Ca^{2+} এবং Cl^- আয়নরূপে দ্রবণের মধ্যে থাকে। একই সঙ্গে দুর্বল তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য জলের কিছু অংশ বিয়োজিত হয়ে H^+ এবং OH^- আয়নরূপে বর্তমান থাকে। এই অবস্থায় দ্রবণের মধ্য দিয়ে তড়িৎপ্রবাহ করলে Ca^{2+} এবং H^+ আয়নগুলি ক্যাথোডের দিকে আকৃষ্ট হয়। যেহেতু ক্যালশিয়াম ধাতু হাইড্রোজেনের চেয়ে তীব্র ইলেকট্রোপটিজিভ, তাই ক্যাথোডে Ca^{2+} আয়নগুলি মুক্ত না হয়ে H^+ আয়ন মুক্ত হয়ে H_2 গ্যাসরূপে বেরিয়ে যায় এবং Ca^{2+} আয়নগুলি দ্রবণেই থেকে যায়। দ্রবণটি গাঢ় বলে দ্রবণে OH^- আয়নের চেয়ে Cl^- আয়নের পরিমাণ বেশি থাকায়, অ্যানোডে OH^- আয়নের পরিবর্তে Cl^- আয়ন মুক্ত হয়ে Cl_2-তে পরিণত হয়। দ্রবণে OH^- আয়ন পড়ে থাকে। দ্রবণে Ca^{2+} এবং OH^- আয়নগুলি থেকে যাওয়ার ফলে $Ca(OH)_2$ উৎপন্ন হয়।

$$CaCl_2 \rightleftharpoons Ca^{2+} + 2Cl^- \qquad H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$$

ক্যাথোডে : $2H^+ + 2e = H_2\uparrow$ **অ্যানোডে :** $2Cl^- - 2e = Cl_2$

সুতরাং দেখা গেল, $CaCl_2$-এর জলীয় দ্রবণের তড়িদ্‌বিশ্লেষণে Ca ধাতু পাওয়া সম্ভব নয়।

● **ক্যালশিয়াম নাইট্রেট, ক্যালশিয়াম সালফেট, ক্যালশিয়াম কার্বনেটের তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করে ধাতব ক্যালশিয়াম উৎপন্ন করা যায় না কেন?** কোনো ধাতব লবণ গলিত অবস্থায় কিংবা জলে দ্রবীভূত অবস্থায় তড়িৎ পরিবহণ করে এবং তড়িদ্‌বিশ্লেষণ হয়। লবণগুলি কঠিন অবস্থায় তড়িৎ পরিবহণ করতে পারে না। এখন $Ca(NO_3)_2$, $CaSO_4$ বা $CaCO_3$-কে উচ্চ উষ্ণতায় বিগলিত করতে গেলে ওইগুলি বিয়োজিত হয়ে CaO-তে পরিণত হয়, যার গলনাঙ্ক খুব উচ্চ। তাই এই লবণগুলিকে তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যরূপে ব্যবহার করা যায় না।

$$2Ca(NO_3)_2 = 2CaO + 4NO_2\uparrow + O_2\uparrow$$

● **গলিত $CaCl_2$-এর তড়িদ্‌বিশ্লেষণে উৎপন্ন ধাতব ক্যালশিয়াম লোহার নলের (ক্যাথোড) অগ্রভাগে দণ্ডের আকারে সেলের বাইরে জমা হয়, অথচ বায়ুর O_2, N_2 বা অ্যানোডে উৎপন্ন Cl_2 দ্বারা আক্রান্ত হয় না কেন?** এর কারণ হল, গলিত $CaCl_2$-এর মধ্য থেকে লোহার নলের গায়ে দণ্ডের আকারে জমা হওয়ার সময় উৎপন্ন ধাতব ক্যালশিয়াম দণ্ডটি গলিত $CaCl_2$-এর স্তর দ্বারা আবৃত হয়ে যায়। $CaCl_2$-এর সঙ্গে ধাতব ক্যালশিয়ামের কোনো বিক্রিয়া হয় না, অথচ এই $CaCl_2$-এর স্তর ভেদ করে বায়ুর মধ্যস্থ অক্সিজেন, নাইট্রোজেন অথবা অ্যানোডে উৎপন্ন ক্লোরিন ক্যালশিয়াম ধাতুর সংস্পর্শে আসতে পারে না, তাই উৎপন্ন ক্যালশিয়াম দণ্ডটি ওই গ্যাসগুলি দ্বারা আক্রান্ত হয় না।

● **গলিত $CaCl_2$ থেকে তড়িদ্‌বিশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় Ca ধাতুর নিষ্কাশনে, লোহার ক্যাথোডটিকে Ca ধাতু জমার সঙ্গে সঙ্গে তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য থেকে উপরের দিকে উঠিয়ে নেওয়া হতে থাকে কেন?** এর কারণ হল, $CaCl_2$-এর তড়িদ্‌বিশ্লেষণে, তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যের উষ্ণতায় ক্যালশিয়াম ধাতু গলিত ক্যালশিয়াম ক্লোরাইডে দ্রাব্য। তাই লোহার ক্যাথোডটিকে গলিত $CaCl_2$-এর মধ্যে ডুবিয়ে রাখলে ক্যাথোডে মুক্ত Ca ধাতু গলিত $CaCl_2$-এর মধ্যে দ্রবীভূত হয়ে যায়। এই দ্রবীভূত Ca ধাতুকে আর পুনরুদ্ধার করা যায় না। তাই লোহার ক্যাথোডে Ca ধাতু জমার সঙ্গে সঙ্গে ওকে ক্রমশ উপরের দিকে উঠিয়ে নেওয়া হতে থাকে যেন উৎপন্ন Ca গলিত $CaCl_2$-এর মধ্যে দ্রবীভূত হওয়ার সুযোগ না পায়।

2.12. ক্যালশিয়ামের ধর্ম [Properties of calcium]

(A) ভৌত ধর্ম : ক্যালশিয়াম নরম, রূপার মতো উজ্জ্বল সাদা ধাতু। একে ছুরি দিয়ে কাটা যায়। খুব হালকা, ঘনত্ব = 1·55 গ্রাম সেমি$^{-3}$। এর গলনাঙ্ক 851°C। ক্যালশিয়াম উত্তম তাপ ও বিদ্যুৎ পরিবাহী।

(B) রাসায়নিক ধর্ম :

(1) বায়ুর সঙ্গে ক্রিয়া : ক্যালশিয়াম তীব্র ইলেকট্রোপজিটিভ মৌল তাই খুব সক্রিয়। শুষ্ক বায়ুতে Ca-এর কোনো পরিবর্তন হয় না, ফলে শুষ্ক বায়ুর মধ্যে Ca ধাতুর ঔজ্জ্বল্য নষ্ট হয় না। বায়ুর সংস্পর্শে আগুনে পোড়ালে ইটের মতো লাল রঙের শিখাসহ

জ্বলে। আর্দ্র বায়ুর মধ্যে ক্যালশিয়াম বায়ুর O_2-এর সঙ্গে যুক্ত হয়ে CaO-এর একটি স্তর গঠন করে, ফলে বিবর্ণ হয়ে যায়। এই অক্সাইড বায়ুর জলীয় বাষ্প এবং CO_2-এর সঙ্গে যুক্ত হয়ে যথাক্রমে ক্যালশিয়াম হাইড্রক্সাইড ও ক্যালশিয়াম কার্বনেট উৎপন্ন করে।

$$2Ca + O_2 = 2CaO \;;\; CaO + H_2O = Ca(OH)_2 \;;\; Ca(OH)_2 + CO_2 = CaCO_3 + H_2O$$

উচ্চ উষ্ণতায় বায়ুর মধ্যে দহন করলে **ক্যালশিয়াম অক্সাইড** এবং **ক্যালশিয়াম নাইট্রাইডে** পরিণত হয়।

$$2Ca + O_2 = 2CaO \quad ; \quad 3Ca + N_2 = Ca_3N_2$$

(2) জলের সঙ্গে ক্রিয়া ঃ সাধারণ উষ্ণতায় ক্যালশিয়ামের সঙ্গে জলের বিক্রিয়ায় ক্যালশিয়াম হাইড্রক্সাইড এবং হাইড্রোজেন উৎপন্ন হয়। ক্যালশিয়াম হাইড্রক্সাইডের দ্রাব্যতা কম বলে জলের সঙ্গে বিক্রিয়ার সময় ক্যালশিয়ামের উপর স্বল্প দ্রাব্য $Ca(OH)_2$-এর একটি আস্তরণ পড়ে, এর ফলে কিছুক্ষণ পর বিক্রিয়া প্রায় বন্ধ হয়ে যায়। **এইজন্যই Na-এর চেয়ে তীব্র ইলেকট্রোপজিটিভ ধাতু হলেও জলের সঙ্গে Ca-এর বিক্রিয়া Na-এর মতো তীব্র হয় না।**

$$Ca + 2H_2O = Ca(OH)_2 + H_2\uparrow$$

(3) অ্যাসিডের সঙ্গে ক্রিয়া ঃ (a) লঘু HCl-এর সঙ্গে বিক্রিয়া ঘটে ক্যালশিয়াম ক্লোরাইড এবং H_2 উৎপন্ন হয়।

$$Ca + 2HCl = CaCl_2 + H_2\uparrow$$

(b) লঘু H_2SO_4-এর সঙ্গে বিক্রিয়ার $CaSO_4$ এবং H_2 উৎপন্ন হয়। ধাতুর উপর উৎপন্ন অদ্রাব্য $CaSO_4$-এর আস্তরণ পড়ে যাওয়ার বিক্রিয়া বন্ধ হয়ে যায়। $Ca + H_2SO_4 = CaSO_4\downarrow + H_2\uparrow$

(4) ক্ষারের সঙ্গে ধাতব ক্যালশিয়ামের কোনো বিক্রিয়া হয় না।

(5) অধাতুর সঙ্গে ক্রিয়া ঃ (a) হাইড্রোজেনের সঙ্গে ঃ 300ºC উষ্ণতায় শুষ্ক H_2 গ্যাসের মধ্যে উত্তপ্ত করলে ক্যালশিয়াম হাইড্রাইড উৎপন্ন হয়। ক্যালশিয়াম হাইড্রাইড **হাইড্রোলিথ** (Hydrolith) নামে পরিচিত। এর সঙ্গে জলের বিক্রিয়ায় ক্যালশিয়াম হাইড্রক্সাইড ও হাইড্রোজেন উৎপন্ন হয়।

$$Ca + H_2 = CaH_2 \quad ; \quad CaH_2 + 2H_2O = Ca(OH)_2 + 2H_2\uparrow$$

(b) (i) উত্তপ্ত ক্যালশিয়াম, নাইট্রোজেনের সঙ্গে যুক্ত হয়ে ক্যালশিয়াম নাইট্রাইড, (ii) হ্যালোজেনের সঙ্গে যুক্ত হয়ে **ক্যালশিয়াম হ্যালাইড, (iii)** ফসফরাসের সঙ্গে যুক্ত হয়ে **ফসফাইড** এবং **S**-এর সঙ্গে **সালফাইড যৌগ** উৎপন্ন করে।

$$3Ca + N_2 = Ca_3N_2 \;;\; 3Ca + 2P = Ca_3P_2$$
$$Ca + Cl_2 = CaCl_2 \;;\; Ca + S = CaS$$

ক্যালশিয়াম নাইট্রাইড জলে আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়ে $Ca(OH)_2$ এবং NH_3 উৎপন্ন করে এবং ফসফাইড জলে আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়ে **ফসফিন** উৎপন্ন করে।

$$Ca_3N_2 + 6H_2O = 3Ca(OH)_2 + 2NH_3 \quad ; \quad Ca_3P_2 + 6H_2O = 3Ca(OH)_2 + 2PH_3$$

2000ºC তাপমাত্রায় কার্বনের সঙ্গে বিক্রিয়া করে **ক্যালশিয়াম কার্বাইডে** পরিণত হয়।

$$Ca + 2C = CaC_2$$

(6) অ্যামোনিয়ার সঙ্গে ক্রিয়া (Action on NH_3) **ঃ**

(a) সাধারণ উষ্ণতায় Ca-এর সঙ্গে অ্যামোনিয়া গ্যাস যুক্ত হয়ে জটিল যৌগ $Ca(NH_3)_6$ উৎপন্ন হয়।

$$Ca + 6NH_3 = Ca(NH_3)_6$$

(b) উচ্চ উষ্ণতায় Ca-এর সঙ্গে NH_3-এর বিক্রিয়ায় **ক্যালশিয়াম অ্যামাইড** এবং **হাইড্রাইড** যৌগ উৎপন্ন করে।

$$Ca + 2NH_3 = Ca(NH_2)_2 + H_2 \quad ; \quad Ca + H_2 = CaH_2$$

(7) বিজারণ ধর্ম ঃ তীব্র ইলেকট্রোপজিটিভ মৌল বলে Ca-এর ইলেকট্রন ত্যাগ করার প্রবণতা খুব বেশি, তাই Ca একটি তীব্র বিজারক পদার্থ। বহু ধাতব বা অধাতব অক্সাইড এবং ক্লোরাইড Ca দ্বারা বিজারিত হয়। যেমন ক্রোমিক অক্সাইড Ca দ্বারা বিজারিত হয়ে ধাতব Cr-এ পরিণত হয়। $Cr_2O_3 + 3Ca = 3CaO + 2Cr$

2.13. ক্যালশিয়ামের ব্যবহার [Uses of calcium]

(i) অ্যালকোহল এবং অন্যান্য জৈব পদার্থ থেকে জল সম্পূর্ণভাবে দূর করতে ধাতব Ca ব্যবহৃত হয়। **(ii)** কোনো কোনো ধাতু নিষ্কাশনের পর ঢালাই করার সময় ধাতুর মধ্যে থেকে যাওয়া বায়ুকে শোষণ করার জন্য Ca ব্যবহৃত হয়। **(iii)** বায়ু থেকে আর্গন গ্যাস প্রস্তুতির সময় Ca ধাতুর প্রয়োজন হয়। **(iv)** হাইড্রোলিথ প্রস্তুতিতে এবং গ্যাস মিশ্রণ থেকে H_2 এবং N_2 দূর করতে Ca

ব্যবহৃত হয়। (v) কতকগুলি সংকর ধাতু উৎপন্ন করতে Ca ব্যবহৃত হয়। যেমন— **ফ্রারি** (Frary)—(Ca + Pb + Ba)-এর সংকর ধাতু; **অ্যাল্কো** (Ulco)—(Ca + Pb)-এর সংকর ধাতু। **(vi) বিজারকরূপে** ক্যালশিয়ামের ব্যবহার আছে।

অনুশীলনী

1. ক্যালশিয়ামের প্রধান আকরিকগুলির নাম, সংকেত সহ লেখো।

2. তড়িৎ-বিজারণ পদ্ধতি দ্বারা ধাতব ক্যালশিয়ামের নিষ্কাশনে নীচের তথ্যগুলি পরিবেশন করো—

(i) তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যরূপে ব্যবহৃত উপাদানগুলির সংযুতি। **(ii)** তড়িদ্‌বিশ্লেষণের তাপমাত্রা। **(iii)** তড়িদ্দ্বারে সংঘটিত রাসায়নিক বিক্রিয়াগুলির বিবরণ। **(iv)** বিভিন্ন তড়িদ্দ্বারে মুক্ত পদার্থের নাম। **(v)** তড়িদ্দ্বার দুটির প্রকৃতি। **(vi)** উৎপন্ন ধাতুটিকে বাতাসের O_2 বা Cl_2 থেকে কী করে রক্ষা করা যায়? **(vii)** ধাতুটি কীভাবে সংগ্রহ করা যায়? **(viii)** তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থের সঙ্গে ফ্লুওস্পার মেশানো হয় কেন? ***[H.S. '91]***, **(ix)** উপজাত দ্রব্য এবং তার ব্যবহার।

3. ধাতব ক্যালশিয়ামের ব্যবহার সম্বন্ধে যা জান লেখো।

4. নীচের প্রশ্নগুলির উত্তর দাও ঃ

(i) প্রমাণ করো ক্যালশিয়াম একটি তীব্র বিজারক। **(ii)** CaO থেকে কার্বন বিজারণ পদ্ধতিতে Ca ধাতু নিষ্কাশন করা যায় না কেন? **(iii)** Ca ধাতুকে মুক্ত অবস্থায় প্রকৃতির মধ্যে পাওয়া যায় না কেন? **(iv)** Ca ধাতু নিষ্কাশনে অনার্দ্র $CaCl_2$-এর সঙ্গে ফ্লুওস্পার মেশানো হয় কেন? ***[H.S. '98]***, **(v)** $CaCl_2$ অথবা অন্য কোনো জলে দ্রাব্য ক্যালশিয়াম লবণের জলীয় দ্রবণের তড়িদ্‌বিশ্লেষণ দ্বারা ক্যাথোডে Ca ধাতুকে মুক্ত করা যায় না কেন? **(vi)** $Ca(NO_3)_2$, $CaSO_4$ বা $CaCO_3$-এর তড়িদ্‌বিশ্লেষণ দ্বারা Ca ধাতু উৎপন্ন করা যায় না কেন? **(vii)** গলিত $CaCl_2$-এর তড়িদ্‌বিশ্লেষণে Ca ধাতু নিষ্কাশনের সময় লোহার ক্যাথোডের অগ্রভাগে Ca ধাতু দণ্ডের আকারে সেলের বাইরে জমা হয়, অথচ বায়ুর O_2, N_2 বা অ্যানোডে উৎপন্ন Cl_2 দ্বারা উৎপন্ন Ca আক্রান্ত হয় না কেন? **(viii)** Ca ধাতুর তড়িৎ-নিষ্কাশনে লোহার ক্যাথোডটির প্রান্তে Ca ধাতু জমার সঙ্গে সঙ্গে গলিত তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য থেকে উপরে উঠিয়ে নেওয়া হয় কেন?

5. কী ঘটে সমীকরণসহ বর্ণনা করো—

(i) এক খণ্ড Ca জলে ফেলা হল। **(ii)** উত্তপ্ত Ca-এর উপর দিয়ে H_2 গ্যাস চালনা করা হল এবং উৎপন্ন পদার্থের তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করা হল। **(iii)** উত্তপ্ত ক্যালশিয়াম কার্বাইডের উপর দিয়ে N_2 গ্যাস চালনা করা হল এবং উৎপন্ন পদার্থের সঙ্গে জল যোগ করা হল। ***[H.S. 2000]***, **(iv)** ঠান্ডা ও লঘু HNO_3-এর সঙ্গে Mg-এর বিক্রিয়া করা হল। **(v)** ধাতব Ca-এর সঙ্গে NH_3 গ্যাসের বিক্রিয়া ঘটানো হল। **(vi)** ধাতব ক্যালশিয়ামকে বায়ুর মধ্যে দহন করা হল। **(vii)** Ca ধাতুকে P-এর সঙ্গে বিক্রিয়া ঘটিয়ে উৎপন্ন পদার্থে জল যোগ করা হল।

6. (a) একটি ক্ষারীয় মৃত্তিকা ধাতুর নাম করো। **(b)** ব্লিচিং পাউডার থেকে Cl_2-এর গন্ধ পাওয়া যায় কেন? **(c)** Mg এবং Ca-এর মধ্যে কোনটি বেশি তড়িৎ-ঋণাত্মক? **(d)** ক্যালশিয়ামের দুটি সংকর ধাতুর নাম ও ব্যবহার লেখো। **(e)** Ca তীব্র ইলেকট্রোপজিটিভ ধাতু হওয়া সত্ত্বেও জলের সঙ্গে Ca-এর বিক্রিয়া Na-এর সাথে জলের বিক্রিয়ার চেয়ে ধীরগতিতে ঘটে কেন? **(f)** উত্তপ্ত অবস্থায় Ca-এর উপর দিয়ে N_2 গ্যাস প্রবাহিত করে যে অবশেষ পাওয়া গেল তার সঙ্গে ফুটন্ত জলের বিক্রিয়ায় কী উৎপন্ন হবে সমীকরণসহ বর্ণনা করো।

7. Ca ধাতুর নিষ্কাশনের সময় ব্যবহৃত তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য $CaCl_2$-এর সাথে ফ্লুওস্পার যোগ করা হয় কেন?

8. সঠিক উত্তর বা উত্তরগুলি নির্বাচন করো—

(i) প্রাণীর হাড়ে কোন ক্ষারীয় মৃত্তিকা ধাতু বর্তমান। **(a)** Ba **(b)** Ca **(c)** Sr **(d)** Mg ***[Ans.*** (b)***]***

(ii) নীচের কোন ধাতুর লবণ ক্ষণস্থায়ী ইটের মতো লাল বর্ণের শিখা দেয়? **(a)** Ca **(b)** Ba **(c)** Sr **(d)** K ***[Ans.*** (a)***]***

(iii) Ca ধাতু নিষ্কাশন করা হয়— **(a)** গলিত $CaCl_2$-এর তড়িদ্‌বিশ্লেষণ দ্বারা, **(b)** $CaCl_2$-এর জলীয় দ্রবণের তড়িদ্‌বিশ্লেষণ দ্বারা, **(c)** $CaCl_2$-এর কার্বন বিজারণ দ্বারা, **(d)** লাইমস্টোনের তাপজারণ দ্বারা। ***[Ans.*** (a)***]***

(iv) একটি যৌগ *X*-কে তাপ দিলে একটি বর্ণহীন গ্যাস দেয়। অবশেষকে জলে দ্রবীভূত করে *Y* পাওয়া গেল। *Y*-এর জলীয় দ্রবণে অতিরিক্ত CO_2 চালনা করায় *Z* পাওয়া গেল। *Z*-কে অল্প উত্তপ্ত করলে *X* ফিরে পাওয়া যায়। *X* হল—
(a) $NaHCO_3$, **(b)** Na_2CO_3, **(c)** $Ca(HCO_3)_2$, **(d)** $CaCO_3$. ***[Ans.*** (d)***]***

(v) কোনটি তীব্র ক্ষারীয়? **(a)** $Ca(OH)_3$, **(b)** $Cu(OH)_3$, **(c)** $Fe(OH)_3$. ***[Ans.*** (a)***]***

(vi) Ca ধাতুর নিষ্কাশনে $CaCl_2$-এর গলনাঙ্ক কমানোর জন্য ওর সাথে যোগ করা হয়—**(a)** CaF_2, **(b)** $MgCl_2$, **(c)** $MgCl_2$, **(d)** NaCl. ***[Ans.*** (a)***]***

• অ্যালুমিনিয়াম ধাতু •

চিহ্ন : Al, আণবিক ভর : 27, পারমাণবিক সংখ্যা : 13, ইলেকট্রন বিন্যাস : $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^1$

2.14. প্রকৃতিতে অ্যালুমিনিয়ামের অবস্থান [Occurrence of Aluminium in nature]

সক্রিয় ধাতু বলে প্রকৃতিতে মুক্ত অবস্থায় অ্যালুমিনিয়াম পাওয়া যায় না। ভূপৃষ্ঠের প্রায় 7·3% অ্যালুমিনিয়াম দ্বারা গঠিত। সাধারণ মাটি একটি অ্যালুমিনিয়ামের যৌগ (Al_2O_3, $2SiO_2$, $2H_2O$)। বেশির ভাগ অ্যালুমিনিয়াম, সিলিকেটরূপে প্রকৃতিতে অবস্থান করে।

● অ্যালুমিনিয়ামের আকরিক (Ores of aluminium) **:**

অ্যালুমিনিয়ামের প্রধান আকরিকগুলি নীচে দেওয়া হল :

(1) কোরানডাম (কুরুবিন্দ), রুবি (চুনী), স্যাফায়ার (নীলা), টোপাজ (হলুদ পোখরাজ) Al_2O_3. **(2) ডায়াস্পোর** (Diaspore) Al_2O_3, H_2O; **বক্সাইট** (Bauxite) Al_2O_3, $2H_2O$; **গিবসাইট** (Gibbsite) Al_2O_3, $3H_2O$. **(3) ক্রাইওলাইট** (Cryolite) AlF_3, $3NaF$. **(4) অ্যালুনাইট** (Alunite) K_2SO_4, $Al_2(SO_4)_3$, $4Al(OH)_3$. **(4) স্পাইনেল** (Spinel) MgO, Al_2O_3 ইত্যাদি।

অ্যালুমিনিয়ামের প্রধান আকরিক হল বক্সাইট (Al_2O_3, $2H_2O$)।

● বক্সাইট আকরিক থেকে কার্বন বিজারণ পদ্ধতিতে Al ধাতু নিষ্কাশন করা যায় না কেন?

বক্সাইট আকরিক থেকে বিশুদ্ধ অ্যালুমিনা (Al_2O_3) প্রস্তুত করে উৎপন্ন Al_2O_3-কে কার্বন বিজারণ দ্বারা ধাতব অ্যালুমিনিয়াম উৎপন্ন করা যায় না, কারণ **(i)** Al তীব্র ইলেকট্রোপজিটিভ মৌল—তাই অক্সিজেনের প্রতি এর তীব্র আসক্তি আছে। সেইজন্য Al এবং O_2-এর বিক্রিয়ায় উৎপন্ন Al_2O_3 খুব সুস্থিত। তাই Al_2O_3 কার্বন দ্বারা বিজারিত হয়ে ধাতু উৎপন্ন করে না। **(ii)** তাছাড়া খুব উচ্চ উষ্ণতায় Al কার্বনের সঙ্গে বিক্রিয়া করে কার্বাইডে (Al_4C_3) পরিণত হয়।

● Al_2O_3-এর তড়িৎ বিজারণ দ্বারা Al ধাতু উৎপন্ন করা কষ্টসাধ্য কেন? কারণ Al_2O_3-এর গলনাঙ্ক প্রায় 2050ºC। এই উচ্চ উষ্ণতা সৃষ্টি করতে অনেক তড়িৎ শক্তির খরচ হয়। তাছাড়া এই উচ্চ উষ্ণতায় উৎপন্ন Al বাষ্পীভূত হয়ে যায়, ফলে ধাতুর অপচয় হয়। যেহেতু Al একটি তীব্র ইলেকট্রোপজিটিভ ধাতু তাই Al-এর লবণের জলীয় দ্রবণের তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করে ক্যাথোডে Al ধাতু পাওয়া যায় না। তাই **বর্তমানে বিশুদ্ধ অ্যালুমিনার** (Al_2O_3) **সঙ্গে ক্রায়োলাইট** (AlF_3, NaF) **এবং ফ্লুওস্পার** (CaF_2) **যোগ করে এই মিশ্রণকে তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থরূপে ব্যবহার করা হয়।** এগুলি যোগ করায় Al_2O_3-এর গলনাঙ্ক অনেক কমে 900ºC উষ্ণতায় গলে যায়। ফলে তড়িদ্‌বিশ্লেষণে ক্যাথোডে Al পাওয়া যায়। Al নিষ্কাশনের এই পদ্ধতি বিজ্ঞানী **হল** এবং **হেরুল্ট** (Hall and Heroult) আবিষ্কার করেন।

2.15. অ্যালুমিনিয়াম ধাতুর নিষ্কাশন [Extraction of Aluminium]

বক্সাইট আকরিক থেকে অ্যালুমিনিয়াম ধাতু নিষ্কাশন করা হয়। বক্সাইটে **সিলিকা** (SiO_2), **ফেরিক অক্সাইড** (Fe_2O_3) এবং অন্যান্য অশুদ্ধি যেমন, **টাইটেনিয়াম ডাইঅক্সাইড** (TiO_2) মিশ্রিত থাকে। বক্সাইটের মধ্যে আয়রনের পরিমাণ বেশি থাকলে তার বর্ণ বাদামি হয়, আবার সিলিকার পরিমাণ বেশি থাকলে বর্ণ সাদা হয়।

● বক্সাইট থেকে সরাসরি ধাতব Al প্রস্তুত না করে, প্রথমে বিশুদ্ধ অ্যালুমিনা প্রস্তুত করা হয় কেন?

বক্সাইটে Fe_2O_3 ও SiO_2 অশুদ্ধরূপে থাকার জন্য সরাসরি বক্সাইট থেকে অ্যালুমিনিয়াম নিষ্কাশন করা হয় না, কারণ তা হলে উৎপন্ন অ্যালুমিনিয়ামের সঙ্গে আয়রন ও সিলিকা যুক্ত হয়ে যেতো, তখন সেই অ্যালুমিনিয়াম সহজেই জল দ্বারা আক্রান্ত হতো ও ভঙ্গুর হতো। সেইজন্য বক্সাইট থেকে অ্যালুমিনিয়াম নিষ্কাশনে প্রথমে বক্সাইট থেকে ওই অশুদ্ধিগুলি দূর করে বিশুদ্ধ অ্যালুমিনা (Al_2O_3) প্রস্তুত করা হয়।

বক্সাইট আকরিক থেকে অ্যালুমিনিয়াম ধাতু নিষ্কাশনে দুটি প্রক্রিয়া সম্পন্ন করা হয়।

(1) বক্সাইট থেকে বিশুদ্ধ অ্যালুমিনিয়াম অক্সাইড বা অ্যালুমিনা উৎপাদন।

(2) বিশুদ্ধ অ্যালুমিনার সঙ্গে ক্রাইওলাইট যোগ করে তড়িৎ বিজারণ দ্বারা ধাতু উৎপাদন।

(A) বক্সাইটের শোধন—বিশুদ্ধ অ্যালুমিনা প্রস্তুতি (Purification of Bauxite—preparation of pure Alumina) **:**

বক্সাইট থেকে বিশুদ্ধ অ্যালুমিনা প্রস্তুতির তিনটি পদ্ধতি আছে—

(1) হলের বিগলন পদ্ধতি (Hall's fusion process) **: (i) বক্সাইট চূর্ণের সঙ্গে সোডিয়াম কার্বনেট মিশিয়ে উচ্চ উষ্ণতায় উত্তপ্ত করা হয়। এর ফলে সোডিয়াম অ্যালুমিনেট, সোডিয়াম সিলিকেট, ক্যালশিয়াম সিলিকেট এবং সোডিয়াম ফেরাইট** ($NaFeO_2$) **উৎপন্ন হয়।**

$$Al_2O_3 + Na_2CO_3 = 2NaAlO_2 + CO_2\uparrow \quad ; \quad SiO_2 + Na_2CO_3 = Na_2SiO_3 + CO_2$$

$$Fe_2O_3 + Na_2CO_3 = 2NaFeO_2 + CO_2\uparrow \quad ; \quad CaO + SiO_2 = CaSiO_3$$

(ii) উৎপন্ন মিশ্রণকে তাড়াতাড়ি জলে দ্রবীভূত করা হয়, এর ফলে সোডিয়াম অ্যালুমিনেট ও সোডিয়াম সিলিকেট জলে দ্রবীভূত হয়ে যায়, কিন্তু সোডিয়াম ফেরাইট ও অন্যান্য অশুদ্ধিগুলি অদ্রাব্য অবস্থায় থাকে। অশুদ্ধিগুলি ছেঁকে পৃথক করা হয়।

(iii) পরিস্কার পরিস্রুতকে 50ºC—60ºC উষ্ণতায় রেখে ওর মধ্য দিয়ে CO_2 গ্যাস চালনা করা হয়। এর ফলে অ্যালুমিনিয়াম হাইড্রক্সাইড অধঃক্ষিপ্ত হয়, কিন্তু সোডিয়াম সিলিকেট দ্রবণে থেকে যায়।

$$2NaAlO_2 + CO_2 + 3H_2O = 2Al(OH)_3\downarrow + Na_2CO_3$$

(iv) উৎপন্ন $Al(OH)_3$-কে ছেঁকে দ্রবণ থেকে পৃথক করে জল দিয়ে ধৌত করার পর চুল্লিতে উত্তপ্ত করলে বিশুদ্ধ অ্যালুমিনা পাওয়া যায়।

$$2Al(OH)_3 = Al_2O_3 + 3H_2O\uparrow$$

(2) বেয়ার পদ্ধতি (Baeyer's process) ঃ লাল বক্সাইট অর্থাৎ যে বক্সাইটের মধ্যে আয়রনের পরিমাণ বেশি থাকে, সেই বক্সাইট থেকে বেয়ার পদ্ধতিতে সহজে ও সুলভে বিশুদ্ধ অ্যালুমিনা প্রস্তুত করা হয়। সাদা বক্সাইটে সিলিকার ভাগ বেশি থাকে, এইজন্য সাদা বক্সাইটের ক্ষেত্রে এই পদ্ধতি প্রয়োগ করলে অনেকটা অ্যালুমিনিয়াম, সোডিয়াম অ্যালুমিনো-সিলিকেটরূপে নষ্ট হয়ে যায়। তাই বেয়ার পদ্ধতি দ্বারা বেশি সিলিকা SiO_2 যুক্ত বক্সাইটকে শোধন করা যায় না।

(i) বক্সাইটকে যন্ত্রের সাহায্যে গুঁড়ো করে লোহিত তাপের চেয়ে কম উষ্ণতায় **ভস্মীকরণ** করা হয়। এর ফলে বক্সাইটের মধ্যে যদি কোনো ফেরাস অক্সাইড থাকে, তা জারিত হয়ে ফেরিক অক্সাইডে পরিণত হয় এবং যে জৈব পদার্থ থাকে তা পুড়ে যায়।

(ii) তারপর এই ভস্মীভূত বক্সাইটকে একটি **অটোক্লেভের মধ্যে 45% সোডিয়াম হাইড্রক্সাইড দ্রবণের সঙ্গে মিশিয়ে 150ºC উষ্ণতায়, 80 পাউন্ড চাপে, প্রায় 8 ঘন্টা ধরে উত্তপ্ত করা হয়।** এর ফলে বক্সাইটের মধ্যস্থ Al_2O_3 এবং সামান্য যে SiO_2 থাকে, সোডিয়াম হাইড্রক্সাইডের সঙ্গে বিক্রিয়া করে যথাক্রমে **সোডিয়াম অ্যালুমিনেট ও সোডিয়াম সিলিকেট** উৎপন্ন করে। এগুলি জলে দ্রাব্য। বক্সাইটের মধ্যস্থ Fe_2O_3, TiO_2 হাইড্রক্সাইডে পরিণত হয়ে অদ্রাব্য অবস্থায় পড়ে থাকে। এই দ্রবণের সঙ্গে আরও জল মিশিয়ে অদ্রাব্য পদার্থগুলিকে ছেঁকে পৃথক করা হয়। পরিস্রুতের মধ্যে জলে দ্রাব্য সোডিয়াম অ্যালুমিনেট এবং সোডিয়াম সিলিকেট থাকে।

$$Al_2O_3 + 2NaOH = 2NaAlO_2 + H_2O \;;\; SiO_2 + 2NaOH = Na_2SiO_3 + H_2O$$

[Fe_2O_3 মিশ্রিত থাকার দরুন এই অদ্রাব্য পদার্থের রং হয় লাল এবং একে **লাল মাটি** বলা হয়। টাইটেনিয়াম এই লাল মাটি থেকে নিষ্কাশন করা হয় এবং কোল গ্যাস বিশুদ্ধকরণ শিল্পে এই লাল মাটির চাহিদা প্রচুর।]

(iii) এরপর পরিস্রুতের সঙ্গে আরও জল মিশিয়ে সামান্য পরিমাণে সদ্য প্রস্তুত অ্যালুমিনিয়াম হাইড্রক্সাইড যোগ করে কয়েক ঘন্টা ধরে আলোড়িত করা হয়। এর ফলে সোডিয়াম অ্যালুমিনেটের আর্দ্র-বিশ্লেষণ ঘটে **অদ্রাব্য অ্যালুমিনিয়াম হাইড্রক্সাইড** উৎপন্ন হয়, সোডিয়াম সিলিকেট জলে দ্রবীভূত থাকে। অধঃক্ষিপ্ত অ্যালুমিনিয়াম হাইড্রক্সাইডকে ছেঁকে পৃথক করে নেওয়া হয়।

$$NaAlO_2 + 2H_2O = Al(OH)_3\downarrow + NaOH$$

উৎপন্ন কস্টিক সোডার দ্রবণকে গাঢ় করে আবার ব্যবহার করা হয়।

(iv) এইভাবে যে অ্যালুমিনিয়াম হাইড্রক্সাইড পাওয়া যায়, তাকে জল দিয়ে ধৌত করে 1000ºC উষ্ণতায় উত্তপ্ত করলে বিশুদ্ধ অ্যালুমিনা পাওয়া যায়।

$$2Al(OH)_3 = Al_2O_3 + 3H_2O\uparrow$$

(3) সারপেক পদ্ধতি (Serpek's process) ঃ যে বক্সাইটের মধ্যে সিলিকার পরিমাণ বেশি থাকে, সেই বক্সাইট থেকে এই পদ্ধতি দ্বারা বিশুদ্ধ অ্যালুমিনা প্রস্তুত করা হয়।

(i) বক্সাইট চূর্ণকে কোকের সঙ্গে মিশিয়ে একটি স্তম্ভের মতো চুল্লিতে 1800ºC উষ্ণতায় উত্তপ্ত করা হয় এবং সঙ্গে সঙ্গে উত্তপ্ত পদার্থের উপর দিয়ে N_2 গ্যাস চালনা করা হয়। এর ফলে **অ্যালুমিনিয়াম নাইট্রাইড** উৎপন্ন হয়। সিলিকা কার্বন দ্বারা বিজারিত হয়ে সিলিকন উৎপন্ন করে। উচ্চ উষ্ণতায় সিলিকন বাষ্পীভূত হয়ে চলে যায়।

$$Al_2O_3 + 3C + N_2 = 2AlN + 3CO\uparrow \qquad SiO_2 + 2C = Si\uparrow + 2CO\uparrow$$

(ii) উৎপন্ন অ্যালুমিনিয়াম নাইট্রাইডকে কস্টিক সোডা দ্রবণের সঙ্গে মিশিয়ে আলোড়িত করলে সোডিয়াম অ্যালুমিনেট ও অ্যামোনিয়া উৎপন্ন হয়।

$$AlN + NaOH + H_2O = NaAlO_2 + NH_3\uparrow$$

(iii) উৎপন্ন অ্যালুমিনিয়াম নাইট্রাইড কিংবা সোডিয়াম অ্যালুমিনেটের আর্দ্র-বিশ্লেষণ করলে $Al(OH)_3$ পাওয়া যায়। একে সংগ্রহ করে উত্তপ্ত করলে বিশুদ্ধ অ্যালুমিনা উৎপন্ন হয়।

$$AlN + 3H_2O = Al(OH)_3\downarrow + NH_3 \qquad NaAlO_2 + 2H_2O = Al(OH)_3\downarrow + NaOH$$

(B) বিশুদ্ধ অ্যালুমিনার তড়িদ্‌বিশ্লেষণ (Electrolysis of pure Alumina) ঃ

(a) তড়িদ্‌বিশ্লেষণ পাত্রের বর্ণনা ঃ (i) ইস্পাতের তৈরি ছোটো ছোটো লোহার ট্যাঙ্কে বিশুদ্ধ অ্যালুমিনার তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করা হয়। **(ii)** ট্যাঙ্কের ভিতরের দেয়াল ও মেঝেতে প্রায় 1 ফুট পুরু গ্যাস কার্বনের আস্তরণ দেওয়া থাকে। ভেতরের **গ্যাস কার্বনের এই আস্তরণ ক্যাথোডের কাজ করে। (iii)** ট্যাঙ্কের উপর থেকে **এক সারি গ্রাফাইট দণ্ড** ট্যাঙ্কের মধ্যে ঝুলিয়ে তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থের মধ্যে ডুবিয়ে রাখা হয়। এই **গ্রাফাইট দণ্ডগুলি অ্যানোডের কাজ করে।**

(b) পদ্ধতি ঃ (i) প্রথমে ট্যাঙ্কের মধ্যে **ক্রাইওলাইট চূর্ণ** এবং **ফ্লুওস্পারের মিশ্রণ** রেখে তড়িৎ-প্রবাহ চালনা করে গলানো হয়। ক্রাইওলাইট এবং ফ্লুওস্পারের মিশ্রণটি 900°C উষ্ণতায় গেলে পর, ওর সঙ্গে বিশুদ্ধ অ্যালুমিনা যোগ করে দ্রবীভূত করা হয়। **(ii) মিশ্রণটি এমনভাবে নেওয়া হয় যেন মিশ্রণে শতকরা 60% ক্রাইওলাইট, 20% বিশুদ্ধ অ্যালুমিনা ও 20% ফ্লুওস্পার থাকে। (iii)** অ্যালুমিনার গলনাঙ্ক প্রায় 2000°C, ফ্লুওস্পার যোগ করার ফলে মিশ্রণটির গলনাঙ্ক প্রায় 900°C হয়। **(iv)** মিশ্রণটির গলিত অবস্থায় ওর মধ্য দিয়ে তড়িৎপ্রবাহ করা হয়। এর ফলে ক্যাথোডে অ্যালুমিনিয়াম মুক্ত হয় এবং তরল অবস্থায় গলিত ক্রাইওলাইটের নীচে জমা হয়। প্রয়োজন মতো নীচের দিকের একটি নির্গম-নল দিয়ে গলিত অ্যালুমিনিয়াম বের করে নেওয়া হয়। **(v)** অ্যানোডে অক্সিজেন উৎপন্ন হয় ও সেল থেকে বেরিয়ে যায়। **(vi) বেশি উষ্ণতার জন্য এই অক্সিজেন গ্রাফাইট অ্যানোডকে আক্রমণ করে CO এবং CO_2-তে পরিণত করে, যার ফলে অ্যানোডের ক্ষয় হয়।** $2C + 3O = CO_2 + CO$. অ্যানোডের এইরকম অপচয় বন্ধ করার জন্য গলিত মিশ্রণের উপর কোকচূর্ণ ছড়িয়ে দেওয়া হয়, এর ফলে অ্যানোডের বদলে কোকচূর্ণ অক্সিজেনে জ্বলতে থাকে। **(vii)** তড়িদ্‌বিশ্লেষণের সময় অ্যালুমিনার পরিমাণ কমে যেতে থাকে। অ্যালুমিনার পরিমাণ অনেক কমে গেলে ব্যবহৃত তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যের রোধ অনেক বেড়ে যায়। তখন বর্তনীর সঙ্গে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত বৈদ্যুতিক বালবটি জ্বলে ওঠে। Al_2O_3-এর পরিমাণ খুব কমে গেলে অ্যানোডে মুক্ত F_2 গ্রাফাইট অ্যানোডকে CF_4-এ জারিত করে।



চিত্র 2.12 ঃ অ্যালুমিনার তড়িদ্‌বিশ্লেষণ

(C) বিক্রিয়া ঃ এইভাবে তড়িদ্‌বিশ্লেষণে ক্রাইওলাইটের কোনো পরিবর্তন দেখা যায় না, কিন্তু অ্যালুমিনা বিশ্লিষ্ট হয়ে অ্যানোডে O_2 এবং ক্যাথোডে অ্যালুমিনিয়াম দেয়। পরিবর্তনটি কীভাবে হয় তার ব্যাখ্যা দুইভাবে করা যায়।

(i) গলিত Al_2O_3 বিয়োজিত হয়ে $2Al^{3+}$ এবং $3O^{2-}$ আয়নে পরিণত হয়। তড়িৎ-প্রবাহ করলে, Al^{3+} আয়ন ক্যাথোডে যায় এবং ইলেকট্রন গ্রহণ করে Al ধাতুরূপে ক্যাথোডে জমা হয়। O^{2-} আয়নগুলি অ্যানোডে যায় এবং ইলেকট্রন বর্জন করে অক্সিজেনে পরিণত হয়।

$$\underset{\text{(গলিত)}}{Al_2O_3} \rightleftharpoons 2Al^{3+} + 3O^{2-}$$

ক্যাথোডে ঃ $2Al^{3+} + 6e \rightarrow 2Al$; **অ্যানোড ঃ** $3O^{2-} - 6e \rightarrow 3O$

$$3O + 3O \rightarrow 3O_2$$

এই ব্যাখ্যা অনুযায়ী দেখা যায় যে, তড়িদ্‌বিশ্লেষণে Al_2O_3 থেকে সরাসরি Al পাওয়া যায়। ক্রাইওলাইট শুধু দ্রাবকরূপে কাজ করে। যেহেতু অক্সিজেনের চেয়ে ফ্লুওরিন আরো বেশি ইলেকট্রোনেগেটিভ, তাই AlF_3-এর F^- আয়ন অ্যানোডে ইলেকট্রন বর্জন করে F_2-তে পরিণত হয় না।

(ii) আর একটি মতবাদ বলে যে, যেহেতু ক্রাইওলাইটের উপস্থিতি ছাড়া অ্যালুমিনার তড়িদ্‌বিশ্লেষণ হয় না এবং যেহেতু তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যের মধ্যে ক্রাইওলাইটের পরিমাণ বেশি থাকে, তাই প্রথমে ক্রাইওলাইটের তড়িদ্‌বিশ্লেষণ ঘটে ক্যাথোডে অ্যালুমিনিয়াম ও অ্যানোডে ফ্লুওরিন উৎপন্ন হয়। উৎপন্ন ফ্লুওরিন অ্যালুমিনার সঙ্গে বিক্রিয়া করে অ্যালুমিনিয়াম ফ্লুওরাইড ও অক্সিজেন উৎপন্ন করে। এই অ্যালুমিনিয়াম ফ্লুওরাইড আবার বিশ্লিষ্ট হয়ে আরও অ্যালুমিনিয়াম উৎপন্ন করে।

$$AlF_3, 3NaF = AlF_3 + 3NaF$$

$$AlF_3 \rightleftharpoons Al^{3+} + 3F^-$$

ক্যাথোড ঃ $Al^{3+} + 3e \rightarrow Al$ **অ্যানোড ঃ** $3F^- - 3e \rightarrow 3F$

$$Al_2O_3 + 6F = 2AlF_3 + 3O$$
$$2C + 3O = CO + CO_2$$

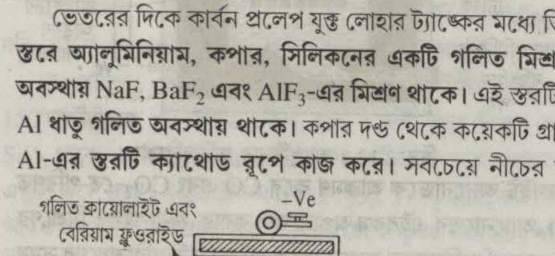
● অ্যালুমিনার তড়িদ্‌বিশ্লেষণে, অ্যালুমিনার সঙ্গে ফ্লুওস্পার যোগ করা হয় কেন?

বিশুদ্ধ অ্যালুমিনার গলনাঙ্ক প্রায় 2000°C, তাই বিশুদ্ধ অ্যালুমিনাকে গলিত অবস্থায় রেখে তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করতে প্রচুর তড়িৎশক্তির খরচ হয়। ওই উচ্চ উষ্ণতায় তড়িদ্‌বিশ্লেষণে যে অ্যালুমিনিয়াম উৎপন্ন হয় তার বেশির ভাগ বাষ্পীভূত হয়ে নষ্ট হয়। তাছাড়া গলিত অ্যালুমিনার চেয়ে ধাতব Al হালকা বলে গলিত তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যের উপরে ভেসে ওঠে, তখন ওকে সংগ্রহ করা কঠিন হয়। তাই অ্যালুমিনাকে এককভাবে তড়িদ্‌বিশ্লেষণ না করে, ওর সঙ্গে ক্রাইওলাইট এবং ফ্লুওস্পার মিশিয়ে তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করা হয়—এর ফলে ওই মিশ্রণের গলনাঙ্ক 950°C হয়। এই মিশ্রণটি গলিত অবস্থায় তড়িতের সুপরিবাহী হয় এবং অপেক্ষাকৃত অনেক কম উষ্ণতায় বিগলিত হয় বলে তড়িৎশক্তির খরচ কম হয়। এছাড়া ফ্লুওস্পার গলিত মিশ্রণের সান্দ্রতা কমিয়ে দেয়।

(D) বিশুদ্ধিকরণ—হুপের পদ্ধতি (Hoope's process) **:**

বক্সাইটের তড়িদ্‌বিশ্লেষণে যে অ্যালুমিনিয়াম পাওয়া যায়, তা সম্পূর্ণ বিশুদ্ধ নয়। এর মধ্যে অশুদ্ধিরূপে সামান্য **সিলিকন** এবং **আয়রন** থাকে। এইজন্য হুপের পদ্ধতি দ্বারা এর পরিশোধন করা হয়।

ভেতরের দিকে কার্বন প্রলেপ যুক্ত লোহার ট্যাঙ্কের মধ্যে তিনটি বিভিন্ন ঘনত্বের গলিত পদার্থ নেওয়া হয়। একেবারে **নীচের স্তরে অ্যালুমিনিয়াম, কপার, সিলিকনের একটি গলিত মিশ্রণ থাকে—এটি অ্যানোডের কাজ করে।** মাঝের স্তরে **গলিত অবস্থায় NaF, BaF_2 এবং AlF_3-এর মিশ্রণ থাকে।** এই স্তরটি **তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যরূপে কাজ করে।** একেবারে উপরের স্তরে **বিশুদ্ধ Al ধাতু গলিত অবস্থায় থাকে।** কপার দণ্ড থেকে কয়েকটি গ্রাফাইটের দণ্ড গলিত Al-কে স্পর্শ করে ঝোলানো থাকে; **গলিত Al-এর স্তরটি ক্যাথোড রূপে কাজ করে।** সবচেয়ে নীচের স্তরে অশুদ্ধ অ্যালুমিনিয়ামকে গলিত অবস্থায় যোগ করা হয়।



চিত্র 2.13 : অ্যালুমিনিয়ামের বিশুদ্ধিকরণ

তড়িৎ-প্রবাহ চালনা করলে অ্যানোড থেকে যে পরিমাণ অ্যালুমিনিয়াম আয়নিত হয়ে মিশ্রণে দ্রবীভূত হয়, ঠিক সেই পরিমাণ বিশুদ্ধ অ্যালুমিনিয়াম ক্যাথোডে জমা হতে থাকে। বেশ কিছুটা বিশুদ্ধ অ্যালুমিনিয়াম উপরের স্তরে জমা হলে একটি নির্গম-নল দিয়ে গলিত Al-কে বের করে নেওয়া হয়।

● অ্যালুমিনা থেকে Al ধাতু নিষ্কাশনের বিভিন্ন তথ্য :

(1) ব্যবহৃত কাঁচামাল বা আকরিক : বক্সাইট (Al_2O_3, $2H_2O$), ক্রাইওলাইট (AlF_3, $3NaF$) এবং ফ্লুওস্পার (CaF_2), সোডিয়াম হাইড্রক্সাইড ($NaOH$)।

(2) তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যরূপে ব্যবহৃত উপাদানগুলির সংযুতি : (i) বিশুদ্ধ অ্যালুমিনা (Al_2O_3) 20% **(ii)** ক্রাইওলাইট (AlF_3, $3NaF$) 60% এবং **(iii)** ফ্লুওস্পার (CaF_2) 20%-এর মিশ্রণকে তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য রূপে ব্যবহার করা হয়।

(3) তড়িদ্দ্বারের প্রকৃতি : তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পাত্রের ভেতরের গায়ে পুরু গ্রাফাইটের আস্তরণ দেওয়া থাকে—এটি ক্যাথোডরূপে ব্যবহৃত হয় এবং উপর থেকে কতকগুলি গ্রাফাইটের দণ্ড ঝোলানো থাকে, এগুলি অ্যানোডরূপে ব্যবহৃত হয়।

(4) তড়িদ্‌বিশ্লেষণের উষ্ণতা : 900°C থেকে 950°C।

(5) বিভিন্ন তড়িদ্দ্বারে সংঘটিত রাসায়নিক বিক্রিয়া : $AlF_3 \rightleftharpoons Al^{3+} + 3F^-$

ক্যাথোডে : $Al^{3+} + 3e = Al$ **অ্যানোড :** $3F^- - 3e = 3F$, $2Al_2O_3 + 12F = 4AlF_3 + 3O_2$.

(6) ধাতুর সংগ্রহ : ধাতব Al গলিত অবস্থায় তড়িদ্‌বিশ্লেষণ পাত্রের নীচে জমা হয়—একটি নির্গম নলের সাহায্যে গলিত Al-কে বের করে সংগ্রহ করা হয়।

2.16. অ্যালুমিনিয়ামের ধর্ম [Properties of Aluminium]

(A) ভৌত ধর্ম : অ্যালুমিনিয়াম রুপোর মতো সাদা ধাতু। ধাতুটি হাল্কা (আপেক্ষিক গুরুত্ব 2·7) এবং নরম। এর তঞ্চন ক্ষমতা (Tensile strength) খুব বেশি। গলনাঙ্ক 600°C, 150°C উষ্ণতায় একে পিটিয়ে পাতে পরিণত করা যায় বা টেনে তারে পরিণত করা যায়, কিন্তু 600°C উষ্ণতায় অ্যালুমিনিয়াম ভঙ্গুর হয়ে পড়ে। অ্যালুমিনিয়াম তাপ ও বিদ্যুতের সুপরিবাহী।

(B) রাসায়নিক ধর্ম :

(1) বায়ুর সঙ্গে ক্রিয়া (Action with air) **:** শুষ্ক বায়ুর সঙ্গে Al-এর কোনো বিক্রিয়া হয় না কিন্তু আর্দ্র বায়ুতে এর উপর

সূক্ষ্ম সাদা অক্সাইডের আস্তরণ পড়ে। এই আস্তরণ পড়ার জন্য বায়ু Al-এর সংস্পর্শে আসতে পারে না, ফলে আর বিক্রিয়া হয় না। অ্যালুমিনিয়ামকে বায়ুর মধ্যে উচ্চ উষ্ণতায় উত্তপ্ত করলে সাদা শিখায় জ্বলে **অক্সাইড ও নাইট্রাইড** উৎপন্ন করে।

$$4Al + 3O_2 = 2Al_2O_3 \quad ; \quad 2Al + N_2 = 2AlN$$

(2) অক্সিজেনের সঙ্গে ক্রিয়া (Action with O_2) **:** সাধারণ উষ্ণতায় অ্যালুমিনিয়ামের উপরে অক্সাইডের সূক্ষ্ম একটি আস্তরণ পড়ে বলে অক্সিজেন দ্বারা সহজে আক্রান্ত হয় না, কিন্তু **উচ্চ উষ্ণতায় অক্সিজেনের প্রতি অ্যালুমিনিয়ামের তীব্র আসক্তি হয়। উচ্চ উষ্ণতায় অক্সিজেনের প্রতি অ্যালুমিনিয়ামের তীব্র আসক্তিতে ধাতব অক্সাইডের বিজারণে ব্যবহার করা হয়।**

● **থার্মিট পদ্ধতি** (Thermit process)—**Al-এর বিজারণ ক্রিয়া :** 1900ºC-এর কাছাকাছি উষ্ণতায় অক্সিজেনের প্রতি অ্যালুমিনিয়ামের আসক্তি তীব্র হয়। সেইজন্য **আয়রন অক্সাইড, ক্রোমিয়াম অক্সাইড, ম্যাঙ্গানিজ অক্সাইড বা সিলিকন অক্সাইডকে অ্যালুমিনিয়াম চূর্ণ বিজারিত করে যথাক্রমে ধাতব আয়রন, ক্রোমিয়াম, ম্যাঙ্গানিজ ও সিলিকন উৎপন্ন করে।** বিক্রিয়াগুলি তাপ উৎপাদক। $Fe_2O_3 + 2Al = 2Fe + Al_2O_3 +$ তাপ

তিন ভাগ আয়রন অক্সাইড ও এক ভাগ অ্যালুমিনিয়াম চূর্ণের মিশ্রণকে থার্মিট মিক্‌শ্চার বলে। ফায়ারক্লে দ্বারা তৈরি একটি পাত্রের মধ্যে এই থার্মিট মিক্‌শ্চার নেওয়া হয়। এই মিশ্রণের উপরে কিছু **পটাশিয়াম ক্লোরেট, বেরিয়াম পারক্সাইড** এবং **ম্যাগনেশিয়াম চূর্ণ** রেখে ওর মধ্যে একটি ম্যাগনেশিয়াম ফিতা ঢুকিয়ে দেওয়া হয়। এই ম্যাগনেশিয়াম ফিতায় আগুন ধরিয়ে দিলে আগুন জ্বলতে জ্বলতে যখন পটাশিয়াম ক্লোরেটের স্তরে পৌঁছায়, তখন প্রচণ্ড উত্তাপের সৃষ্টি হয় এবং সঙ্গে সঙ্গে অ্যালুমিনিয়াম চূর্ণ ও আয়রন অক্সাইডের মধ্যে তীব্র বিক্রিয়া ঘটে এবং প্রচুর তাপ উৎপন্ন হয়। বিক্রিয়ার ফলে ধাতব আয়রন ও অ্যালুমিনিয়াম অক্সাইড উৎপন্ন হয়। উচ্চ উষ্ণতায় আয়রন গলিত অবস্থায় পাত্রের নীচের দিকে জমা হয়, এর উপরে Al_2O_3 ভাসতে থাকে। পাত্রের নীচের দিকে একটি ছিদ্রপথে গলিত আয়রনকে বের করে বিভিন্ন কাজে লাগানো হয়।

এই পদ্ধতি ভাঙা রেল জোড়া দিতে, জাহাজ, গাড়ি না সরিয়ে মেরামত করতে, ক্রোমিয়াম, ম্যাঙ্গানিজ প্রভৃতি ধাতু নিষ্কাশনে ব্যবহার করা হয়।

(3) জলের সঙ্গে ক্রিয়া : অক্সাইডের পাতলা আস্তরণ সৃষ্টি হওয়ার জন্য সাধারণ উষ্ণতায় জলের সঙ্গে অ্যালুমিনিয়ামের কোনো বিক্রিয়া হয় না। কিন্তু ফুটন্ত জলের সঙ্গে Al চূর্ণের বিক্রিয়ায় অ্যালুমিনিয়াম হাইড্রক্সাইড এবং H_2 উৎপন্ন হয়। অ্যালুমিনিয়াম অ্যামালগাম (Al/Hg) জলের সঙ্গে সহজে বিক্রিয়া করে হাইড্রক্সাইড ও হাইড্রোজেন উৎপন্ন করে।

$$2Al + 6H_2O = 2Al(OH)_3 + 3H_2\uparrow$$

(4) অ্যাসিডের সঙ্গে ক্রিয়া : (i) HCl দ্বারা অ্যালুমিনিয়াম আক্রান্ত হয়ে অ্যালুমিনিয়াম ক্লোরাইড এবং H_2 উৎপন্ন করে।

$$2Al + 6HCl = 2AlCl_3 + 3H_2$$

(ii) লঘু H_2SO_4-এর সঙ্গে Al-এর বিক্রিয়া প্রায় হয় না বললেই চলে। উষ্ণ ও গাঢ় H_2SO_4-এর বিক্রিয়ায় সালফেট ও SO_2 উৎপন্ন হয়। $2Al + 6H_2SO_4 = Al_2(SO_4)_3 + 3SO_2 + 6H_2O$

(iii) লঘু নাইট্রিক অ্যাসিডে অ্যালুমিনিয়াম খুব ধীরে ধীরে দ্রবীভূত হয়ে অ্যালুমিনিয়াম নাইট্রেট লবণে পরিণত হয়। কোনো গ্যাস বের হয় না, অ্যাসিডের গাঢ়ত্ব বাড়ার সঙ্গে সঙ্গে বিক্রিয়া করার ক্ষমতা কমে যায়। গাঢ় HNO_3-এর সঙ্গে অ্যালুমিনিয়াম বিক্রিয়া না করে নিষ্ক্রিয় (Passive) হয়ে যায়। এর কারণ হল গাঢ় HNO_3-এর সংস্পর্শে আসার সঙ্গে সঙ্গে Al-এর উপর ওর অক্সাইডের একটি পাতলা আস্তরণ পড়ে যায়, যার ফলে Al নিষ্ক্রিয় হয়ে যায়। এই কারণে অ্যালুমিনিয়াম পাত্রের মধ্যে গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিড রাখা যায়।

(5) ক্ষারের সঙ্গে ক্রিয়া : তীব্র ক্ষারের (NaOH বা KOH) উষ্ণ ও গাঢ় দ্রবণের সঙ্গে অ্যালুমিনিয়াম চূর্ণের বিক্রিয়ায় **অ্যালুমিনেট লবণ ও হাইড্রোজেন** উৎপন্ন হয়। উত্তপ্ত এবং গাঢ় সোডিয়াম কার্বনেট দ্রবণের সঙ্গেও ধাতব Al চূর্ণের ঘটে সোডিয়াম অ্যালুমিনেট, CO_2 এবং H_2 উৎপন্ন হয়।

$$2Al + 2NaOH + 2H_2O = 2NaAlO_2 + 3H_2$$

(6) তীব্র ক্ষার মিশ্রিত নাইট্রেটের সঙ্গে বিক্রিয়া : তীব্র ক্ষার যেমন NaOH বা KOH-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় জায়মান H উৎপন্ন হয়। তাই নাইট্রেট লবণের সঙ্গে Al চূর্ণ ও কস্টিক সোডা বা KOH মিশিয়ে উত্তপ্ত করলে নাইট্রেট বিজারিত হয়ে অ্যামোনিয়াতে পরিণত হয়। ঝাঁঝালো গন্ধ দ্বারা একে শনাক্ত করা যায়।

$$5NaOH + 8Al + 2H_2O + 3NaNO_3 = 8NaAlO_2 + 3NH_3$$

(7) অধাতুর সঙ্গে ক্রিয়া ঃ (i) হ্যালোজেন দ্বারা অ্যালুমিনিয়াম সোজাসুজি আক্রান্ত হয়ে **হ্যালাইড** উৎপন্ন করে। **(ii)** উচ্চ উষ্ণতায় N_2-এর সঙ্গে যুক্ত হয়ে **নাইট্রাইড** উৎপন্ন করে।

$$2Al + 3Cl_2 + 2AlCl_3 \;;\; 2Al + N_2 = 2AlN \;;\; 2Al + 3Br_2 = 2AlBr_3$$

(iii) সালফার এর সঙ্গে Al-এর বিক্রিয়ায় **সালফাইড** উৎপন্ন হয়। $2Al + 3S = Al_2S_3$.

(iv) খুব উচ্চ উষ্ণতায় Al সরাসরি **কার্বনের** সঙ্গে যুক্ত হয়ে **কার্বাইড** উৎপন্ন করে। $4Al + 3C = Al_4C_3$.

$AlCl_3$, AlN, Al_2S_3 এবং Al_4C_3—যৌগগুলিকে জল বা স্টিম দ্বারা উত্তপ্ত করলে আর্দ্র-বিশিষ্ট হয়ে প্রতিক্ষেত্রে $Al(OH)_3$ অধঃক্ষিপ্ত হয়।

$$AlCl_3 + 3H_2O = Al(OH)_3 + 3HCl \qquad AlN + 3H_2O = Al(OH)_3 + NH_3$$
$$Al_2S_3 + 6H_2O = 2Al(OH)_3 + 3H_2S \qquad Al_4C_3 + 12H_2O = 4Al(OH)_3 + 3CH_4 \text{ (মিথেন)}$$

(8) প্রতিস্থাপন বিক্রিয়া ঃ তড়িৎ রাসায়নিক শ্রেণিতে Al-এর নীচে যে ধাতুগুলি আছে, সেই ধাতুগুলির লবণের জলীয় দ্রবণে Al চূর্ণ যোগ করলে, Al নিজে দ্রবীভূত হয়ে ওই ধাতুগুলিকে মুক্ত করে।

যেমন, কপার সালফেট দ্রবণে Al যোগ করলে, Al নিজে সালফেট লবণে পরিণত হয়ে দ্রবীভূত হয় এবং ধাতব Cu অধঃক্ষিপ্ত হয়।

$$2Al + 3CuSO_4 = Al_2(SO_4)_3 + 3Cu \downarrow$$

● **$CuSO_4$-এর আম্লিক দ্রবণের তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করলে ক্যাথোডে Cu মুক্ত হয়। Al লবণের আম্লিক দ্রবণের তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করলে ক্যাথোডে Al মুক্ত হয় না কেন?**

Al ধাতুর লবণের, যেমন $Al_2(SO_4)_3$-এর আম্লিক জলীয় দ্রবণের তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করলে ক্যাথোডে Al ধাতু মুক্ত হয় না। এর কারণ যেহেতু Al তীব্র ইলেকট্রোপজিটিভ, তাই Al^{3+} আয়নের তড়িৎ মুক্তি বিভবের মান খুব বেশি। তাই দেখা যায় তড়িৎ চালনা করলে Al^{3+} আয়নের বদলে দ্রবণের মধ্যস্থ অ্যাসিড বা জলের H^+ আয়ন ক্যাথোডে যায় এবং ইলেকট্রন গ্রহণ করে H_2-তে পরিণত হয়। কিন্তু যেহেতু H_2-এর চেয়ে Cu দুর্বল ইলেকট্রোপজিটিভ তাই $CuSO_4$ দ্রবণে তড়িৎ চালনা করলে H^+-এর পরিবর্তে Cu^{2+} আয়ন ক্যাথোডে যায় এবং ইলেকট্রন গ্রহণ করে ধাতব কপারে পরিণত হয়।

● **জিঙ্ক সালফেট দ্রবণের তড়িদ্‌বিশ্লেষণ দ্বারা ক্যাথোডে ধাতব জিঙ্ক মুক্ত হয়, কিন্তু অ্যালুমিনিয়াম সালফেট দ্রবণের তড়িদ্‌বিশ্লেষণে Al ধাতু ক্যাথোডে মুক্ত হয় না কেন?**

এর কারণ হল Al-এর প্রমাণ বিজারণ বিভব হাইড্রোজেনের প্রমাণ বিজারণ বিভবের চেয়ে অনেক কম। তাই $Al_2(SO_4)_3$-এর জলীয় দ্রবণে উপস্থিত Al^{3+}, SO_4^{2-}, H^+ এবং OH^- আয়নগুলির মধ্যে H^+ আয়ন আগে ক্যাথোড থেকে ইলেকট্রন গ্রহণ করে বিজারিত হয়ে H_2 গ্যাসে পরিণত হয়। $2H^+ + 2e \rightarrow H_2$। ফলে ক্যাথোডে Al ধাতু মুক্ত না হয়ে H_2 গ্যাস নির্গত হয়।

অপরদিকে, তড়িৎ রাসায়নিক শ্রেণিতে হাইড্রোজেনের সামান্য উপরে অবস্থিত Zn-এর বিজারণ বিভব বা তড়িৎ-ক্ষরণ বিভব (discharge potential), নির্দিষ্ট তড়িদ্‌বিশ্লেষণের শর্তে ক্যাথোডে হাইড্রোজেনের ওভার ভোল্টেজের (over voltage) জন্য, হাইড্রোজেনের প্রকৃত তড়িৎ-ক্ষরণ বিভব Zn-এর তড়িৎ-ক্ষরণ বিভবের চেয়ে কম হয়। এর ফলে Zn-এর লবণের জলীয় দ্রবণের তড়িদ্‌বিশ্লেষণে হাইড্রোজেনের পরিবর্তে Zn ক্যাথোডে মুক্ত হয়।

2.17. অ্যালুমিনিয়ামের ব্যবহার [Uses of Aluminium]

দৈনন্দিন জীবনে এবং আধুনিক সভ্যতায় অ্যালুমিনিয়ামের ব্যবহার লোহা এবং ইস্পাতের মতোই।

(i) এরোপ্লেনের বডি নির্মাণে, বৈদ্যুতিক কেবল্ ও রান্নার বাসনপত্র প্রস্তুতিতে, **(ii)** চেয়ার, টেবিল ইত্যাদি তৈরি করতে, মরিচা নিবারণের জন্য রং হিসাবে, **(iii)** থারমিট, বোমা ও বাজি প্রস্তুতিতে (অ্যামোনিয়াম নাইট্রেট এবং অ্যালুমিনিয়ামের চূর্ণের মিশ্রণ **অ্যামোন্যাল** নামে পরিচিত, বোমা প্রস্তুতিতে এই মিশ্রণ ব্যবহৃত হয়), **(iv)** বিজারক হিসাবে সিলিকন, ক্রোমিয়াম, ম্যাঙ্গানিজ প্রভৃতি মৌল উৎপাদনে এবং **(v)** অনেকরকম অতি প্রয়োজনীয় সংকর ধাতু প্রস্তুতিতে, **(vi)** মোড়ক (সিগারেট, চকোলেট প্রভৃতির মোড়ক রাংতা) প্রস্তুতিতে অ্যালুমিনিয়াম ব্যবহৃত হয়।

● **অ্যালুমিনিয়ামের সংকর ধাতু** (Alloys of Aluminium) **ঃ**

(1) মাগনেলিয়াম (98% Al, 2% Mg) **ঃ** হালকা যন্ত্র ও তুলাযন্ত্র নির্মাণে ব্যবহৃত হয়।

(2) ডুরালুমিন (95% Al, 4% Cu, 0·5% Mg, 0·5% Mn) **ঃ** উড়োজাহাজ ও গাড়ির বডি প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত হয়।

(3) Al ব্রোঞ্জ (10% Al + 90% Cu) **ঃ** মুদ্রা, বাসন, ফুলদানি ইত্যাদি প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত হয়।

(4) অ্যালনিকো (95% স্টিল, 2% Al, 2% Ni, 1% Co) **ঃ** কৃত্রিম চুম্বক প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত হয়।

অনুশীলনী

[A] অতি সংক্ষিপ্ত উত্তরধর্মী প্রশ্ন ঃ

(1) অ্যালুমিনিয়ামের প্রধান আকরিকটির নাম সংকেতসহ লেখো। **(2)** কোরান্ডাম কোন ধাতুর কী জাতীয় আকরিক? **(3)** অ্যালুমিনা কী? **(4)** He এবং Al-এর মধ্যে কোনটির বিজারণ ক্ষমতা বেশি? **(5)** অ্যালুমিনিয়াম হাইড্রক্সাইডকে উত্তপ্ত করলে কী পাওয়া যাবে? **(6)** একটি ধাতুর নাম করো যার সাথে তীব্র ক্ষারের বিক্রিয়ায় H_2 উৎপন্ন হয়। **(7)** $CuSO_4$ দ্রবণে Al চূর্ণ যোগ করলে কী হবে? **(8)** ক্রাইওলাইট কী? ধাতব Al-এর উৎপাদনে এর ভূমিকা কী? **(9)** Al_2O_3-এর তড়িৎবিজারণে ফ্লুওস্পার যোগ করা হয় কেন? **(10)** জলীয় বাষ্পপূর্ণ বায়ুর মধ্যে Al ধাতু সুস্থিত কেন?

[B] সংক্ষিপ্ত উত্তরধর্মী প্রশ্ন ঃ

1. কার্বন বিজারণ পদ্ধতি দ্বারা অ্যালুমিনা থেকে Al ধাতু নিষ্কাশন করা হয় না কেন? এই তড়িৎ বিজারণে ক্রাইওলাইটের কাজ কী? Al_2O_3-এর গলনাঙ্ক কমাবার জন্য কী ব্যবস্থা নেওয়া হয়?

2. তড়িদ্‌বিশ্লেষণ প্রণালী দ্বারা কীভাবে Al ধাতুকে বিশুদ্ধ করা হয়?

3. অ্যালুমিনার তড়িৎ বিজারণে যে যে পদার্থ ব্যবহৃত হয় তাদের মধ্যে কোনটি ব্যয়িত হয় এবং কীভাবে হয়?

4. বক্সাইট আকরিক থেকে বিশুদ্ধ অ্যালুমিনা কীভাবে প্রস্তুত করা যায় সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়াগুলি সমিত সমীকরণসহ লেখো।

5. অ্যালুমিনিয়াম থেকে সোদক $AlCl_3$ কীভাবে প্রস্তুত করবে? অ্যালুমিনিয়াম সালফেট থেকে কীভাবে অ্যালুমিনা প্রস্তুত করবে?

6. অ্যালুমিনো থার্মিট পদ্ধতির নীতিটি বল। কী করে এটি কার্যকর করা হয়? এই পদ্ধতিতে উৎপাদন করা যায় এমন দুটি ধাতুর নাম করো।

7. বেশি সিলিকা যুক্ত বক্সাইট থেকে বেয়ার পদ্ধতি দ্বারা বিশুদ্ধ অ্যালুমিনা প্রস্তুত করা যায় না কেন?

8. কেবল বিশুদ্ধ অ্যালুমিনার তড়িদ্‌বিশ্লেষণ দ্বারা অ্যালুমিনিয়াম ধাতু পাওয়া যায় না কেন ব্যাখ্যা করো।

[C] রচনাধর্মী প্রশ্ন ঃ

1. অ্যালুমিনিয়ামের প্রধান আকরিকের নাম সমীকরণসহ লেখো। তড়িৎ-বিজারণ প্রণালী দ্বারা এই আকরিক থেকে অ্যালুমিনিয়াম নিষ্কাশন পদ্ধতি বর্ণনা করো।

2. (a) অ্যালুমিনিয়াম ধাতুর তড়িৎ-নিষ্কাশন পদ্ধতিতে কী কী তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য, তড়িদ্দ্বার এবং শর্ত ব্যবহৃত হয়?

(b) তড়িদ্‌বিশ্লেষণ প্রণালীতে কীভাবে অ্যালুমিনিয়াম ধাতু বিশুদ্ধ করা হয় বর্ণনা করো।

3. তড়িদ্‌বিশ্লেষণ পদ্ধতিতে বক্সাইট আকরিক থেকে অ্যালুমিনিয়াম ধাতুর নিষ্কাশন সংক্রান্ত নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির উত্তর দাও—

(i) বেয়ার পদ্ধতিতে অবিশুদ্ধ বক্সাইট থেকে কী উপায়ে বিশুদ্ধ বক্সাইট অর্থাৎ অ্যালুমিনা উৎপন্ন করা হয়? **(ii)** তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য রূপে কী কী পদার্থ কী কী ওজন অনুপাতে ব্যবহার করা হয়? অথবা, হল ও হেরুল্ট পদ্ধতিতে ব্যবহৃত তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যের সংযুক্তি কী? **(iii)** ক্রাইওলাইট এবং ফ্লুওস্পারের কাজ কী? **(iv)** ব্যবহৃত ক্যাথোড এবং অ্যানোডের প্রকৃতি কী রকম? **(v)** তড়িদ্দ্বারে কী কী পদার্থ উৎপন্ন হয়? **(vi)** তড়িদ্দ্বারের ক্ষয় নিবারণের জন্য কী ব্যবস্থা নেওয়া হয়? **(vii)** ধাতব Al কীভাবে সংগ্রহ করা হয়?

4. কী ঘটে সমীকরণ সহ বল—

(i) ফেরিক অক্সাইড এবং Al চূর্ণের মিশ্রণকে তীব্র উত্তপ্ত করা হল। **(ii)** উত্তপ্ত Al-এর উপর দিয়ে N_2 গ্যাস চালনা করা হল এবং অবশেষের সঙ্গে জল যোগ করে উত্তপ্ত করা হল। **(iii)** উচ্চ তাপমাত্রায় অ্যালুমিনার সঙ্গে কোবাল্ট নাইট্রেট দ্রবণ যোগ করলে কী পরিবর্তন হবে? **(iv)** অ্যালুমিনিয়াম সালফেট দ্রবণে অতিরিক্ত পরিমাণে NaOH দ্রবণ ধীরে ধীরে যোগ করা হল। **(v)** Al চূর্ণ এবং কার্বন চূর্ণের মিশ্রণকে উচ্চ তাপে উত্তপ্ত করে উৎপন্ন পদার্থকে জলের সঙ্গে ফুটানো হল। **(vi)** Al লবণের জলীয় দ্রবণে ধীরে ধীরে অতিরিক্ত পরিমাণ NaOH দ্রবণ মিশানো হল। **(vii)** KNO3 ও KOH-এর গাঢ় দ্রবণে Al চূর্ণ যোগ করে উত্তপ্ত করা হল। **(viii)** অ্যালুমিনিয়াম নাইট্রেটকে তীব্র উত্তপ্ত করা হল। **(ix)** $NaNO_2$ এবং NaOH-এর মিশ্রণে Al চূর্ণ যোগ করে উত্তপ্ত করা হল। **(x)** উত্তপ্ত Al চূর্ণের উপর দিয়ে N_2 চালনা করা হল। **(xi)** Al চূর্ণকে বায়ুতে উত্তপ্ত করা হল।

5. বক্সাইট থেকে অ্যালুমিনিয়াম নিষ্কাশন সংক্রান্ত বিষয়ে নিম্নলিখিত তথ্যগুলি পরিবেশন করো—**(i)** তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যরূপে ব্যবহৃত উপাদান সমূহের সংযুতি। **(ii)** তড়িদ্দ্বারে সংঘটিত রাসায়নিক বিক্রিয়া সমূহ ও তড়িদ্দ্বার দুটির প্রকৃতি। **(iii)** ধাতুটির সংগ্রহ।

6. (a) অ্যালুমিনো-থার্মিট পদ্ধতি বর্ণনা করো। **(b)** থার্মিট মিশ্রণ কী? **(c)** মিশ্রণের উপরের স্তরে BaO_2 এবং $KClO_3$-এর মিশ্রণ রাখা হয় কেন? **(d)** থার্মিট মিশ্রণের বিক্রিয়াটির সমীকরণ দাও। **(e)** থার্মিট মিশ্রণ বিক্রিয়াটিতে কী প্রমাণিত হয়? **(f)** পদ্ধতিটি কী কী কাজে ব্যবহার করা হয়?

7. (i) তড়িদ্‌বিশ্লেষণ পদ্ধতিতে কীভাবে অ্যালুমিনিয়াম বিশুদ্ধ করা যায়? **(ii)** বক্সাইটে সিলিকার পরিমাণ বেশি থাকলে কোন পদ্ধতিতে ওই বক্সাইট থেকে বিশুদ্ধ অ্যালুমিনা প্রস্তুত করা হয়? পদ্ধতিটি বর্ণনা করো। **(iii)** অ্যালুমিনার তড়িৎ-বিজারণে যে সমস্ত পদার্থ ব্যবহৃত হয়—তাদের মধ্যে কোনটি ব্যয়িত হয়?

11. কারণ ব্যাখ্যা করো—

(i) বিশুদ্ধ অ্যালুমিনার তড়িদ্‌বিশ্লেষণে ক্রাইওলাইট এবং ফ্লুওস্পার যোগ করা হয়।

(ii) সোদক $AlCl_3$-কে উত্তপ্ত করে অনার্দ্র $AlCl_3$ পাওয়া যায় না।

(iii) HCl মেশানো $AlCl_3$ দ্রবণের তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করলে ক্যাথোডে Al ধাতু মুক্ত হয় না।

(iv) কার্বন বিজারণ দ্বারা অ্যালুমিনা থেকে Al ধাতু নিষ্কাশন করা যায় না।

(v) $NaNO_3$ এবং NaOH-এর জলীয় দ্রবণে Al চূর্ণ যোগে উত্তপ্ত করলে NH_3 উৎপন্ন হয়।

(vi) অ্যালুমিনিয়াম একটি উত্তম বিজারক।

(vii) অ্যালুমিনিয়ামের তড়িদ্‌বিশ্লেষণ প্রণালী দ্বারা নিষ্কাশনের সময় অ্যানোড ক্ষয়প্রাপ্ত হয়।

(viii) অ্যালমিনিয়াম লবণের জলীয় দ্রবণের তড়িদ্‌বিশ্লেষণে ক্যাথোডে অ্যালুমিনিয়াম মুক্ত হয় না।

(ix) বক্সাইট থেকে সরাসরি ধাতব Al প্রস্তুত না করে প্রথমে বিশুদ্ধ অ্যালুমিনা প্রস্তুত করা হয়।

(x) লাল বক্সাইটকে বেয়ার পদ্ধতি দ্বারা বিশুদ্ধ অ্যালুমিনায় পরিণত করা হয়।

[D] নৈর্ব্যক্তিক প্রশ্ন ঃ

সঠিক উত্তর বা উত্তরগুলি নির্বাচন করো—

1. যে বক্সাইটের মধ্যে লোহা অশুদ্ধিরূপে বর্তমান থাকে সেই বক্সাইটকে বিশুদ্ধ করা হয়—**(a)** বেয়ার পদ্ধতি দ্বারা, **(b)** তড়িদ্‌বিশ্লেষণ পদ্ধতি দ্বারা, **(c)** হুপের পদ্ধতিতে, **(d)** সারপেক পদ্ধতিতে। [*Ans.* (a)]

2. অ্যালুমিনার তড়িদ্‌বিশ্লেষণে ক্রাইওলাইট যোগ করা হয় কারণ—**(a)** অ্যালুমিনার গলনাঙ্ক কমিয়ে দেয়, **(b)** তড়িৎ-পরিবাহিতা বাড়িয়ে দেয়, **(c)** অ্যানোডের ক্ষয় কমানোর জন্য, **(d)** অ্যালুমিনার অশুদ্ধি দূর করার জন্য। [*Ans.* (b)]

3. অ্যালুমিনো-থার্মিট পদ্ধতিতে Al কাজ করে—**(a)** জারক রূপে, **(b)** বিগালক রূপে, **(c)** বিজারক রূপে, **(d)** ঝাল দেওয়ার কাজে। [*Ans.* (c)]

4. Al ধাতুকে সবচেয়ে কম পরিমাণ KOH দ্রবণে দ্রবীভূত করে যে দ্রবণ পাওয়া গেল তাকে H_2SO_4 দ্বারা প্রশমিত করার পর প্রাপ্ত দ্রবণকে স্থিরভাবে রেখে কেলাসিত করলে কেলাস পাওয়া যাবে—**(a)** অ্যালুমিনিয়াম সালফেটের, **(b)** পটাশিয়াম সালফেটের, **(c)** অ্যালুমিনিয়াম সালফেট এবং পটাশিয়াম সালফেটের, **(d)** পটাশ অ্যালামের। [*Ans.* (d)]

5. কোন ধাতুটি উচ্চ উষ্ণতায় জ্বলে এবং তাপ উৎপন্ন করে?—**(a)** Cu, **(b)** Hg, **(c)** Pb, **(d)** Al. [*Ans.* (d)]

6. ডুরালুমিন হল সংকর ধাতু—**(a)** Al + Mg-এর, **(b)** Al + Mg + Ni-এর, **(c)** Al + Mg + Mn + Cu-এর, **(d)** Al + Ni-এর। [*Ans.* (c)]

● কপার ধাতু ●

চিহ্ন ঃ Cu, পারমাণবিক সংখ্যা ঃ 29, আণবিক ভর ঃ 63·54, ইলেকট্রন বিন্যাস ঃ $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^1$

2.18. প্রকৃতিতে কপারের অবস্থান [Occurrence of Copper in nature]

কপারকে মুক্ত অবস্থায় প্রকৃতিতে পাওয়া যায়, তবে তার পরিমাণ বেশি নয়। বেশির ভাগ কপারই যৌগ অবস্থায় প্রকৃতিতে পাওয়া যায়। কপারের প্রধান কয়েকটি আকরিকের নাম নীচে দেওয়া হল—

সালফাইড ঃ **(1) কপার পাইরাইটিস বা চ্যালকো-পাইরাইটিস** (Copper Pyrites) Cu_2S, Fe_2S_3.

(2) কপার গ্লান্স বা চ্যালকোসাইট (Copper Glance) Cu_2S.

কার্বনেট ঃ **(3) মালাকাইট** (Malachite) $CuCO_3$, $Cu(OH)_2$.

(4) আজুরাইট (Azurite) $2CuCO_3$, $Cu(OH)_2$.

অক্সাইড ঃ **(5) কিউপ্রাইট** (Cuprite) Cu_2O. **(6) মেলাকোনাইট** (Melaconite) CuO.

● কপার পাইরাইটিস আকরিক থেকে ধাতব কপার নিষ্কাশন করা সহজ নয় কেন?

কপারের প্রধান আকরিক হল **কপার পাইরাইটিস**। এই আকরিক থেকে সোজাসুজি ধাতব কপার নিষ্কাশন করা যায় না, কারণ—**(i)** এই আকরিকের মধ্যে Fe_2S_3 বর্তমান থাকে। যেহেতু আয়রন, কপারের চেয়ে বেশি ইলেকট্রোপজিটিভ, তাই অক্সিজেনের প্রতি আসক্তি কপারের চেয়ে আয়রনের বেশি। সেজন্য কপার পাইরাইটিসকে বায়ুপ্রবাহে উত্তপ্ত করে Cu_2S-কে জারিত করে Cu_2O-তে পরিণত করার চেষ্টা করলে Cu_2S-এর আগে Fe_2S_3 জারিত হয়ে FeS এবং FeO-তে পরিণত হয়। যদি বা কিছুটা Cu_2S জারিত হয়ে Cu_2O-তে পরিণত হয়, কিন্তু সঙ্গে সঙ্গে উৎপন্ন Cu_2O, FeS-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে আবার Cu_2S-এ পরিণত হয়। **(ii)** এদিকে Cu_2S-এর কিছু অংশ জারিত হয়ে Cu_2O-তে পরিণত না হলে স্বতঃবিজারণ সম্ভব নয়। এই

অসুবিধার জন্য কপার পাইরাইটিস থেকে যতক্ষণ পর্যন্ত না সম্পূর্ণ আয়রন, $FeSiO_3$ (ধাতুমল) রূপে অপসারিত হচ্ছে, ততক্ষণ Cu_2S-কে জারিত করে Cu_2O-তে পরিণত করা যায় না, ফলে Cu_2S থেকে কপারও পাওয়া যায় না।

2.19. কপার পাইরাইটিস আকরিক থেকে ধাতব কপার নিষ্কাশন [Extraction of Copper]

কপার পাইরাইটিস থেকে ধাতব কপার নিষ্কাশনে নীচের প্রক্রিয়াগুলি পরপর সম্পন্ন করা হয়।

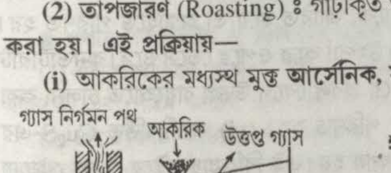
(1) গাঢ়ীকরণ ঃ অবিশুদ্ধ কপার পাইরাইটিসে কপারের পরিমাণ 2% থেকে 3% হয়, সেজন্য খনিজ কপারে, কপারের পরিমাণ বাড়িয়ে সিলিকেট এবং অন্যান্য অশুদ্ধিগুলি দূর করা দরকার। এর জন্য আকরিককে সূক্ষ্মভাবে চূর্ণ করে বড়ো বড়ো চৌবাচ্চার জলে মিশিয়ে সেই জলের সঙ্গে সামান্য **পাইন তেল, সোডিয়াম জ্যানথেট** মেশানো হয়। মিশ্রণের নীচের অংশে একটি সচ্ছিদ্র নলের ভিতর দিয়ে তীব্রবেগে বায়ুপ্রবাহ চালনা করা হয়। এর ফলে তেল ও জলের মিশ্রণে প্রচুর ফেনা উৎপন্ন হয়। এই ফেনার সঙ্গে কপার ও অন্যান্য ধাতুর সালফাইড আকরিক কণাগুলি আটকে ওপরে ভেসে ওঠে। বালি, মাটি প্রভৃতি সিলিকেট জাতীয় পদার্থগুলি জলে ভিজে নীচে থিতিয়ে পড়ে। ফেনাগুলি সংগ্রহ করে গরম বাতাস দ্বারা শুষ্ক করে নেওয়া হয়। এভাবে খানিকটা অশুদ্ধি দূর হওয়ায়, আকরিকের মধ্যে কপারের পরিমাণ 30%—35% হয়। গাঢ়ীকরণের এই পদ্ধতিকে **তৈলভাসন পদ্ধতি** বলা হয়।



চিত্র 2.14 ঃ তৈলভাসন পদ্ধতি

(2) তাপজারণ (Roasting) ঃ গাঢ়ীকৃত আকরিককে **পরাবর্ত চুল্লির মধ্যে বায়ুপ্রবাহ দ্বারা গলনাঙ্কের কম উষ্ণতায় উত্তপ্ত করা হয়। এই প্রক্রিয়ায়—**

(i) আকরিকের মধ্যস্থ মুক্ত **আর্সেনিক, সালফার, জলীয় বাষ্প, কার্বন ডাইঅক্সাইড** প্রভৃতি উদ্বায়ী পদার্থগুলি দূর হয়।



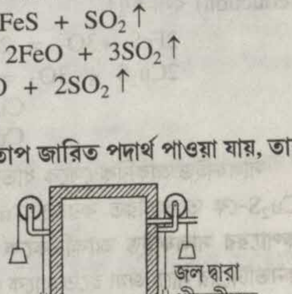
চিত্র 2.15 ঃ পরাবর্ত চুল্লি

(ii) আয়রন কপারের চেয়ে বেশি ইলেকট্রোপজিটিভ ধাতু বলে সহজে জারিত হয়ে FeO এবং FeS উৎপন্ন করে।

(iii) সামান্য Cu_2S জারিত হয়ে Cu_2O-তে পরিণত হলেও উৎপন্ন Cu_2O, FeS-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে আবার Cu_2S-এ পরিণত হয়।

$$Cu_2S, Fe_2S_3 + O_2 = Cu_2S + 2FeS + SO_2\uparrow$$
$$Cu_2S, Fe_2S_3 + 4O_2 = Cu_2S + 2FeO + 3SO_2\uparrow$$
$$2Cu_2S \text{ (সামান্য)} + 3O_2 = 2Cu_2O + 2SO_2\uparrow$$
$$Cu_2O + FeS = Cu_2S + FeO$$

(3) বিগলন (Smelting), ম্যাট প্রস্তুতি ঃ তাপ জারণের পর পরাবর্ত চুল্লি থেকে যে তাপ জারিত পদার্থ পাওয়া যায়, তার মধ্যে Cu_2S, FeS, FeO এবং খুব সামান্য Cu_2O এবং অন্যান্য অপদ্রব্য থাকে। এই তাপজারিত আকরিকের সঙ্গে **কোক, বালি (SiO_2)** এবং সামান্য **চুনাপাথর** মিশিয়ে মিশ্রণটিকে বিশেষভাবে নির্মিত বায়ু-চুল্লির (Blast furnace) মধ্যে উচ্চ উষ্ণতায় প্রচুর **বায়ুপ্রবাহ দ্বারা গলানো হয়। কোক উষ্ণ বাতাসে জ্বলে প্রচুর তাপ উৎপন্ন করে। এখানে কোক তাপ উৎপাদনের কাজে ব্যবহৃত হয় মাত্র।**



চিত্র 2.16 ঃ ম্যাট উৎপন্নে ব্যবহৃত ব্লাস্ট ফার্নেস

(i) এই উচ্চ উষ্ণতায়, তাপ-জারিত আকরিকের মধ্যস্থ আয়রন সালফাইড, অক্সাইডে পরিণত হয়।

$$2FeS + 3O_2 = 2FeO + 2SO_2\uparrow$$
$$Fe_2S_3 + 4O_2 = 2FeO + 3SO_2\uparrow$$

(ii) অক্সিজেনের প্রতি আসক্তি কপারের চেয়ে আয়রনের বেশি, সেজন্য সামান্য কিউপ্রাস অক্সাইড যা উৎপন্ন হয়, ফেরাস সালফাইডের সঙ্গে বিক্রিয়ায় তা আবার Cu_2S-এ পরিণত হয়।

$$2Cu_2S + 3O_2 = 2Cu_2O + 2SO_2\uparrow$$
$$Cu_2O + FeS = Cu_2S + FeO$$

(iii) বালি (SiO_2) এখানে বিগালকের কাজ করে এবং উৎপন্ন FeO-এর সঙ্গে যুক্ত হয়ে ফেরাস সিলিকেট (ধাতুমল) উৎপন্ন করে।

$$FeO + SiO_2 = FeSiO_3 \text{ (ধাতুমল)}$$

(iv) অতিরিক্ত বালি (SiO_2) থাকলে চুনের সঙ্গে যুক্ত হয়ে ক্যালশিয়াম সিলিকেটে (ধাতুমল) পরিণত হয়।

(v) বায়ু চুল্লির নীচের অংশে খুব বেশি উষ্ণতায়, উৎপন্ন কিউপ্রাস সালফাইড, ফেরাস সিলিকেট (ধাতুমল) গলে যায় ও চুল্লির নীচে একটি প্রকোষ্ঠে দুটি পৃথক স্তরে জমা হয়। ধাতুমল হালকা বলে গলিত কিউপ্রাস সালফাইডের ওপর ভাসতে থাকে। এই দুটি স্তরকে দুটি বিভিন্ন নল দিয়ে বের করে নেওয়া হয়। **গলিত কিউপ্রাস সালফাইডের সঙ্গে সামান্য FeS এবং FeO থাকে। একেই ম্যাট (Matte) বলে। ম্যাটে কপারের শতকরা পরিমাণ 55 ভাগ।**



চিত্র 2.17 : বিসিমার কনভার্টারে স্বতঃবিজারণ

(4) স্বতঃ-বিজারণ (Self-reduction) : বিসিমার কনভার্টারে এই প্রক্রিয়া সম্পন্ন করা হয়। বিসিমার কনভার্টার ডিমের মতো গোলাকার। এর বাইরের দিকটা স্টিলের তৈরি ও ভিতরের দিকে **ম্যাগনেসাইট** (ম্যাগনেশিয়াম অক্সাইড) দ্বারা নির্মিত অগ্নিসহ ইটের আস্তরণ দেওয়া থাকে। ওপরের মুখটি খোলা থাকে, এর মাঝামাঝি জায়গায় সচ্ছিদ্র নলের সাহায্যে গলিত ম্যাটের মধ্য দিয়ে উত্তপ্ত বায়ু তীব্রবেগে চালনা করা হয়।

(i) গলিত ম্যাটকে সোজাসুজি বায়ু-চুল্লি থেকে **বিসিমার কনভার্টারে** নেওয়া হয় ও প্রয়োজনমতো এর সঙ্গে সামান্য বালি (SiO_2) যোগ করা হয়। **(ii)** গলিত ম্যাটের মধ্য দিয়ে সচ্ছিদ্র নলের সাহায্যে তীব্র বেগে উত্তপ্ত বায়ু চালনা করা হয়। **(iii)** উচ্চ উষ্ণতায় ও তীব্র বায়ুপ্রবাহে ম্যাটের মধ্যে যেটুকু আয়রন সালফাইড থাকে, জারিত হয়ে তা অক্সাইডে পরিণত হয়। **(iv)** উৎপন্ন ফেরাস অক্সাইড, সিলিকার সঙ্গে যুক্ত হয়ে ফেরাস সিলিকেট (ধাতুমল) উৎপন্ন করে ওপরে ভেসে ওঠে। কনভার্টারটি কাত করে ধাতুমল ফেলে দেওয়া হয়। **(v)** এইবার কনভার্টারকে আবার সোজা করে প্রবল বেগে উত্তপ্ত বায়ুস্রোতে চালনা করা হয়। এর ফলে কিছু পরিমাণ Cu_2S জারিত হয়ে Cu_2O-তে এবং Cu_2SO_4-এ পরিণত হয়। **(vi)** অপরিবর্তিত Cu_2S-এর সঙ্গে এইভাবে উৎপন্ন Cu_2O এবং Cu_2SO_4-এর বিক্রিয়ার ফলে ধাতব কপার উৎপন্ন হয়। এই বিক্রিয়ায় বাইরে থেকে কোনো বিজারক পদার্থ যোগ না করলেও Cu_2S-এর বিজারণ ঘটে ধাতব Cu উৎপন্ন হয় তাই বিক্রিয়াটিকে **স্বতঃ-বিজারণ** (Self-reduction) বলা হয়।

$$2FeS + 3O_2 = 2FeO + 2SO_2\uparrow; \quad FeO + SiO_2 = FeSiO_3\,(\text{ধাতুমল});$$
$$2Cu_2S + 3O_2 = 2Cu_2O + 2SO_2\uparrow \quad Cu_2S + 2O_2 = Cu_2SO_4$$
$$Cu_2S + 2Cu_2O = 6Cu + SO_2\uparrow$$
$$Cu_2S + Cu_2SO_4 = 4Cu + 2SO_2\uparrow$$

সালফাইড আকরিক থেকে ধাতব কপারের নিষ্কাশনে দেখা গেল যে, বাইরে থেকে কোনো বিজারক পদার্থ যোগ না করলেও, Cu_2S-কে তাপজারিত করলে Cu_2S-এর স্বতঃবিজারণ দ্বারা ধাতব কপার পাওয়া যায়। সুতরাং **এককথায় বলা যায় যে, কপারের সালফাইড আকরিককে পুড়িয়েই ধাতব কপার পাওয়া যায়। (vii)** ধাতব কপার উৎপন্ন হওয়ার সঙ্গে সঙ্গে কনভার্টারের নীচে জমা হতে থাকে। ওপরের বিক্রিয়াগুলি তাপ উৎপাদক বলে উৎপন্ন Cu গলিত অবস্থায় থাকে। **যে নল দিয়ে কনভার্টারে উত্তপ্ত বায়ু প্রবেশ করে, তার নীচে কপার সঞ্চিত হয় বলে বায়ুর O_2 দ্বারা আর জারিত হওয়ার সম্ভাবনা থাকে না। (viii)** বিক্রিয়ার শেষে কনভার্টারকে উপুড় করে গলিত কপারকে বের করে নেওয়া হয়। **গলিত কপার ঠান্ডা হয়ে কঠিন হওয়ার সময় ওর মধ্য থেকে SO_2 গ্যাস বের হয় সেজন্য উৎপন্ন কপারের গায়ে ফোস্কার মতো দাগ থেকে যায়।** এই কপারকে **ব্লিস্টার কপার** (Blister Copper) বলে। এর মধ্যে শতকরা 97·98 ভাগ কপার থাকে।

(5) বিশুদ্ধিকরণ (Refining) : **(i) তাপশোধন** : কনভার্টার থেকে উৎপন্ন কপারের সঙ্গে কিছু অন্যান্য ধাতু মেশানো থাকে। এই কপারকে সিলিকার আস্তরণ দেওয়া পরাবর্ত চুল্লির মধ্যে বায়ুপ্রবাহে গলানো হয়। এর ফলে কপারের চেয়ে বেশি ইলেকট্রোপজিটিভ ধাতুগুলি সিলিকার সঙ্গে যুক্ত হয়ে ধাতুমলে পরিণত হয়। ওপর থেকে ধাতুমল সরিয়ে নেওয়া হয়। $FeO + SiO_2 = FeSiO_3$ (ধাতুমল)। সামান্য কপার, অক্সাইডে পরিণত হতে পারে, সেজন্য গলিত কপারের ওপরে কিছু কোক-চূর্ণ ছড়িয়ে কাঁচা কাঠের হাতা দিয়ে আলোড়িত করা হয়। এর ফলে কাঁচা কাঠ থেকে যে কয়লা ও হাইড্রোকার্বন গ্যাস উৎপন্ন হয়, সেগুলি উৎপন্ন কপার অক্সাইডকে বিজারিত করে ধাতব কপারে পরিণত করে। এই পদ্ধতিতে 99% বিশুদ্ধ কপার পাওয়া যায়।

$$Cu_2O + C = 2Cu + CO\uparrow \quad ; \quad Cu_2O + CO = 2Cu + CO_2\uparrow$$

(ii) তড়িৎ বিশোধন ঃ লেডের আস্তরণযুক্ত ট্যাঙ্কের মধ্যে **লঘু H_2SO_4 (5—10%) মেশানো কপার সালফেট দ্রবণ** (15%) **নেওয়া হয়। অশুদ্ধ কপারকে (ব্লিস্টার কপার) বড়ো বড়ো পুরু পাতে পরিণত করে অ্যানোডরূপে** এবং খুব পাতলা **বিশুদ্ধ কপার পাতকে ক্যাথোডরূপে ব্যবহার করে** কপার সালফেট দ্রবণে ডুবিয়ে রাখা হয়। অ্যানোড ও ক্যাথোড পরপর ঝুলিয়ে দ্রবণের মধ্যে ডোবানো অবস্থায় রাখা থাকে। তড়িৎপ্রবাহ চালনার সঙ্গে সঙ্গে অ্যানোড থেকে কপার আয়নিত হয়ে দ্রবীভূত হয়, আর ক্যাথোডে কপার জমা হতে থাকে। অ্যানোডের চারদিক সূক্ষ্ম মসলিনের থলি দিয়ে ঘেরা থাকে। অশুদ্ধ কপারের সঙ্গে মেশানো গোল্ড, সিলভার, প্লাটিনাম ইত্যাদি দামি ধাতুগুলি কাদার আকারে এর মধ্যে জমা হয়। একে **অ্যানোড মাড** (Anode mud) বলে। **ক্যাথোডে যে কপার জমা হয়, তার মধ্যে কপারের পরিমাণ 99·99% থাকে।**



চিত্র 2.18 ঃ কপারের বিশুদ্ধিকরণ

রাসায়নিক বিক্রিয়া ঃ $CuSO_4 \rightleftharpoons Cu^{2+} + SO_4^{2-}$; $H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$

ক্যাথোড ঃ $Cu^{2+} + 2e = Cu$ **অ্যানোড ঃ** $Cu - 2e = Cu^{2+}$

● **কপার পাইরাইটিস বা চ্যালকো পাইরাইটিস থেকে ধাতব কপার নিষ্কাশনের বিষয় বিভিন্ন তথ্য ঃ**

(1) এই পদ্ধতিতে ব্যবহৃত বিভিন্ন কাঁচামালগুলির নাম ঃ (i) কপার পাইরাইটিস (Cu_2S, Fe_2S_3), **(ii)** কোক, **(iii)** সোডিয়াম জ্যানথেট এবং পাইন অয়েল, **(iv)** সিলিকা, **(v)** সালফিউরিক অ্যাসিড এবং কপার সালফেট দ্রবণ।

(2) প্রত্যেকটি কাঁচামালের ভূমিকা ঃ (i) কপার পাইরাইটিস ঃ আকরিক থেকে ধাতব কপার নিষ্কাশন করা হয়। **(a)** গাঢ়ীকৃত আকরিককে পরাবর্ত চুল্লির মধ্যে তাপজারিত করা হয় ফলে আকরিকের মধ্যস্থ Fe_2S_3 জারিত হয়ে অক্সাইডে পরিণত হয়। Cu_2S কিন্তু অবিকৃত থাকে। **(b)** ব্লাস্ট ফার্নেসে বিগলন প্রক্রিয়ায় আকরিকের মধ্যস্থ অবশিষ্ট আয়রন জারিত হয়ে অক্সাইডে পরিণত হয় এবং সিলিকার সঙ্গে যুক্ত হয়ে সিলিকেটরূপে (ধাতুমল) পৃথক হয়। **(c)** পরে আয়রনমুক্ত Cu_2S-কে বিসিমার কনভার্টারে স্বতঃবিজারণ প্রক্রিয়ায় ধাতব কপারে পরিণত করা হয়।

(ii) কোক ঃ পরাবর্ত চুল্লিতে কোক জ্বালিয়ে গাঢ়ীকৃত আকরিককে গলনাঙ্কের কম উষ্ণতায় উত্তপ্ত করে তাপজারণ করা হয়। বিগলন প্রক্রিয়ায় ব্লাস্ট ফার্নেসে কোকের জ্বলন দ্বারা উচ্চ উষ্ণতার সৃষ্টি করা হয়।

(iii) সোডিয়াম জ্যানথেট ও পাইন অয়েল ঃ তৈলভাসন প্রণালীতে আকরিককে গাঢ়ীকৃত করার কাজে ব্যবহৃত হয়।

(iv) সিলিকা ঃ বিগলন প্রক্রিয়ায় তাপজারিত আকরিকের মধ্যস্থ FeO-এর সঙ্গে যুক্ত হয়ে $FeSiO_3$ (ধাতুমল) উৎপন্ন করে। এভাবে আকরিকের মধ্যস্থ Cu_2S থেকে আয়রনকে পৃথক করা হয়।

(v) H_2SO_4 এবং $CuSO_4$ দ্রবণ ঃ ব্লিস্টার কপারের তড়িৎ-শোধনে তড়িদ্বিশ্লেষ্যরূপে ব্যবহার করা হয়।

(3) ব্যবহৃত বায়ুর ভূমিকা ঃ (i) গাঢ়ীকৃত আকরিকের তাপজারণ এবং তাপজারিত আকরিকের বিগলন প্রক্রিয়ায় ম্যাট প্রস্তুতিতে বায়ুর অক্সিজেন ব্যবহৃত হয়।

(ii) বিসিমারিজেশন প্রক্রিয়ার সময় বায়ুর O_2 দ্বারা Cu_2S-এর কিছু অংশ জারিত হয়ে Cu_2O-তে পরিণত হয়, যা অবশিষ্ট Cu_2S-এর সঙ্গে স্বতঃ-বিজারণ বিক্রিয়া দ্বারা ধাতব কপার উৎপন্ন করে।

$$2Cu_2S + 3O_2\,(\text{বায়ু}) = 2Cu_2O + 2SO_2$$

(4) কপার নিষ্কাশনকারী বিক্রিয়াগুলি ঃ (i) তাপজারণে গাঢ়ীকৃত আকরিকের Fe_2S_3 জারিত হয়ে FeS এবং FeO-তে পরিণত হয়। Cu_2S-এর কোনো পরিবর্তন হয় না।

$$Cu_2S, Fe_2S_3 + O_2 = Cu_2S + 2FeS + SO_2\uparrow$$
$$Cu_2S, Fe_2S_3 + 4O_2 = Cu_2S + 2FeO + 3SO_2\uparrow$$

(ii) বিগলন প্রক্রিয়ায় তাপজারিত আকরিকের মধ্যস্থ FeO সিলিকার সঙ্গে যুক্ত হয়ে ফেরাস সিলিকেট (ধাতুমল) উৎপন্ন করে।

$$FeO + SiO_2 = FeSiO_3$$

(iii) স্বতঃবিজারণ ঃ ম্যাটকে গলিত অবস্থায় বিসিমার কনভার্টারের মধ্যে নিয়ে উষ্ণ বায়ুপ্রবাহ চালনা করা হয়। এর ফলে Cu_2S আংশিক জারিত হয়ে Cu_2O এবং Cu_2SO_4-এ পরিণত হয় যা অবিকৃত Cu_2S-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে স্বতঃবিজারণ দ্বারা ধাতব Cu উৎপন্ন করে।

$$2Cu_2S + 3O_2 = 2Cu_2O + 2SO_2 \qquad Cu_2S + 2O_2 = Cu_2SO_4$$
$$Cu_2S + 2Cu_2O = 6Cu + SO_2\uparrow \qquad Cu_2S + Cu_2SO_4 = 4Cu + 2SO_2\uparrow$$

(5) নিষ্কাশিত কপারের সংগ্রহ ঃ কনভার্টারের মধ্যে উৎপন্ন ধাতব কপার গলিত অবস্থায় নীচে জমা হয়—ওপরে ধাতুমল জমতে থাকে। বিক্রিয়া শেষে কনভার্টারকে উপুড় করে গলিত কপারকে বালিতে ঢালা হয়।

(6) উপজাত পদার্থের নাম ও ব্যবহার ঃ (i) তাপজারণের সময় উৎপন্ন SO_2-কে H_2SO_4-এর শিল্প উৎপাদনে ব্যবহার করা হয়। **(ii)** বিগলনে প্রাপ্ত ধাতুমল ($FeSiO_3$) রাস্তা তৈরির কাজ এবং গর্ত ভরাট করার কাজে ব্যবহার করা হয়। **(iii)** কপারের তড়িৎ-বিশোধনের সময় অ্যানোড-মাড রূপে Ag, Au, Pt ইত্যাদি মূল্যবান ধাতুগুলি পাওয়া যায়।

● **সিক্ত পদ্ধতিতে ধাতব কপার নিষ্কাশন** (Extraction of copper by wet process) ঃ

নীচুমানের সালফাইড আকরিকের মধ্যে কপার সালফাইডের চেয়ে আয়রন সালফাইডের পরিমাণ বেশি থাকে। এই জাতীয় আকরিক থেকে সিক্ত পদ্ধতি দ্বারা ধাতব কপার নিষ্কাশন করা হয়।

(i) এই জাতীয় কপার আকরিককে চূর্ণ করে জল সিক্ত অবস্থায় অনেকদিন ধরে খোলা বাতাসের মধ্যে ফেলে রাখা হয়। এর ফলে বায়ুর O_2 দ্বারা জারিত হয়ে Cu_2S, $CuSO_4$-এ পরিণত হয় এবং Fe_2S_3, $FeSO_4$-এ পরিণত হয়।

(ii) মাঝে মাঝে জল দিয়ে ধুয়ে জলীয় দ্রবণকে চৌবাচ্চার মধ্যে সংগ্রহ করা হয়।

$$2Cu_2S + 5O_2 = 2CuSO_4 + 2CuO$$
$$2Fe_2S_3 + 11O_2 + 2H_2O = 2H_2SO_4 + 4FeSO_4$$
$$CuO + H_2SO_4 = CuSO_4 + H_2O$$

(iii) চৌবাচ্চার দ্রবণে কিছু পরিমাণ আয়রন চূর্ণ যোগ করে ধাতব Cu-কে অধঃক্ষিপ্ত করা হয়। এই অধঃক্ষেপকে ফিলটার করে সংগ্রহ করে পৃথক করার পর তড়িদ্‌বিশ্লেষণ প্রণালী দ্বারা বিশুদ্ধ Cu পাওয়া যায়।

$$CuSO_4 + Fe = FeSO_4 + Cu\downarrow$$

2.20. কপারের ধর্ম [Properties of Copper]

(A) ভৌত ধর্ম ঃ কপারের একটি বিশেষ লাল রং আছে। একে তামাটে লাল বলে। কপার হল নমনীয় ঘাতসহনশীল ও প্রসার্যমান ধাতু—এর আপেক্ষিক গুরুত্ব 8·86। কপার তাপ ও বিদ্যুতের সুপরিবাহী। গলনাঙ্ক 1083°C এবং স্ফুটনাঙ্ক 2310°C।

(B) রাসায়নিক ধর্ম ঃ (1) বায়ুর সঙ্গে ক্রিয়া (Action with air) ঃ সাধারণ উষ্ণতায় শুষ্ক বায়ুতে কপারের কোনো বিক্রিয়া হয় না। আর্দ্র বায়ুতে কপারের ওপর ধীরে ধীরে অক্সাইডের একটি সূক্ষ্ম আস্তরণ পড়ে। **অনেকদিন ধরে আর্দ্র বায়ুর মধ্যে পড়ে থাকলে অক্সাইডের ওই আস্তরণের রং সবুজ হয়ে যায়।** এর কারণ হল, ধাতব কপারের গায়ে বায়ুর O_2, CO_2 এবং জলীয় বাষ্পের ক্রিয়ায় উৎপন্ন সবুজ বর্ণের **বেসিক কপার কার্বনেটের** একটি আস্তরণ পড়ে।

$$2Cu + H_2O + CO_2 + O_2 = CuCO_3, Cu(OH)_2$$

বায়ুর মধ্যে SO_2 উপস্থিত থাকলে **ক্ষারকীয় কপার সালফেটে** [$CuSO_4$, $3Cu(OH)_2$] পরিণত হয়।

$$8Cu + 6H_2O + 2SO_2 + 5O_2 = 2[CuSO_4, 3Cu(OH)_2]$$

কপারকে বাতাসে বা অক্সিজেনে তীব্রভাবে উত্তপ্ত করলে **কালো রঙের কিউপ্রিক অক্সাইড** উৎপন্ন হয়।

$$2Cu + O_2 = 2CuO$$

(2) জলের সঙ্গে ক্রিয়া ঃ জল বা স্টিম, লোহিততপ্ত কপারের সঙ্গে কোনো বিক্রিয়া করে না, তবে জিঙ্ক কপার কাপল গরম জল থেকে H_2 মুক্ত করে।

(3) অ্যাসিডের সঙ্গে ক্রিয়া ঃ (i) তড়িৎ-রাসায়নিক শ্রেণিতে কপার হাইড্রোজেনের নীচে আছে, সেজন্য লঘু HCl বা H_2SO_4-এর সঙ্গে কপারের কোনো বিক্রিয়া হয় না, কিন্তু গাঢ় হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড বা লঘু H_2SO_4 বায়ুর উপস্থিতিতে ধীরে ধীরে কপারকে দ্রবীভূত করে।

$$2Cu + 4HCl + O_2 = 2CuCl_2 + 2H_2O$$
$$2Cu + 2H_2SO_4 + O_2 + 2CuSO_4 + 2H_2O$$

(ii) উষ্ণ ও গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের সঙ্গে কপারের বিক্রিয়ায় **কপার সালফেট ও সালফার ডাইঅক্সাইড** উৎপন্ন হয়।

$$Cu + 2H_2SO_4 = CuSO_4 + SO_2 + 2H_2O$$

(iii) কপারের সঙ্গে উষ্ণ ও গাঢ় HNO_3-এর বিক্রিয়ায় **কপার নাইট্রেট ও NO_2 গ্যাস** উৎপন্ন হয়।

$$Cu + 4HNO_3 = Cu(NO_3)_2 + 2NO_2 + 2H_2O$$

মধ্যম গাঢ় HNO_3-এর বিক্রিয়ায় **কপার নাইট্রেট** এবং **নাইট্রিক অক্সাইড** উৎপন্ন হয়।

$$3Cu + 8HNO_3 = 3Cu(NO_3)_2 + 2NO + 4H_2O$$

লঘু ও শীতল নাইট্রিক অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়ায় কপার নাইট্রেট ও নাইট্রাস অক্সাইড উৎপন্ন হয়।

$$4Cu + 10HNO_3 = 4Cu(NO_3)_2 + N_2O + 5H_2O$$

উত্তপ্ত কপারের ওপর দিয়ে HNO_3 বাষ্প চালনা করলে, Cu জারিত হয়ে **কিউপ্রিক অক্সাইডে** পরিণত হয় এবং HNO_3 বিজারিত হয়ে N_2 উৎপন্ন করে। $5Cu + 2HNO_3 = 5CuO + N_2 + H_2O$

(4) ক্ষারের সঙ্গে ক্রিয়া এবং জটিল যৌগ গঠন : তীব্র ক্ষারের সঙ্গে কপারের কোনো বিক্রিয়া হয় না। **(i)** অক্সিজেনের উপস্থিতিতে গাঢ় অ্যামোনিয়ার মধ্যে কপার চূর্ণ ধীরে ধীরে দ্রবীভূত হয়ে **কিউপ্রা-অ্যামোনিয়াম হাইড্রক্সাইড** উৎপন্ন করে।

$$2Cu + 8NH_4OH + O_2 = 2[Cu(NH_3)_4](OH)_2 + 6H_2O$$

(ii) O_2-এর উপস্থিতিতে NaCN বা KCN দ্রবণের সঙ্গে Cu-এর বিক্রিয়ায় জলে দ্রাব্য **টেট্রা-সায়ানো কিউপ্রেট লবণ** উৎপন্ন করে। $2Cu + 8KCN + 2O_2 = 2K_2[Cu(CN)_4] + 4KOH$

(5) অধাতুর সঙ্গে ক্রিয়া : ক্লোরিনের সঙ্গে সোজাসুজি যুক্ত হয়ে **কিউপ্রিক ক্লোরাইড** উৎপন্ন করে। কপারের সঙ্গে **সালফার** মিশিয়ে উত্তপ্ত করলে কালো **কিউপ্রিক সালফাইড** উৎপন্ন হয়।

$$Cu + Cl_2 = CuCl_2, \qquad Cu + S = CuS$$

(6) কপারের বিজারণ ধর্ম : (i) Cu উত্তপ্ত গাঢ় H_2SO_4-কে সালফার ডাইঅক্সাইডে, নাইট্রিক অ্যাসিড বাষ্পকে N_2-তে বিজারিত করে। ফেরিক দ্রবণকে ফেরাস লবণে বিজারিত করে।

$$Fe_2(SO_4)_3 + Cu = 2FeSO_4 + CuSO_4$$

(ii) উত্তপ্ত কপার নাইট্রোজেনের অক্সাইডগুলিকে বিজারিত করে N_2 উৎপন্ন করে।

$$N_2O + Cu = N_2 + CuO, \qquad 2NO + 2Cu = N_2 + 2CuO$$

(7) সিলভার নাইট্রেট দ্রবণ : $AgNO_3$ দ্রবণে কপার চূর্ণ যোগ করলে **সিলভার অধঃক্ষিপ্ত হয়** এবং **কিউপ্রিক নাইট্রেট** উৎপন্ন হয়।

$$2AgNO_3 \rightleftharpoons 2Ag^+ + 2NO_3^- \quad ; \quad Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e$$
$$2Ag^+ + 2e = 2Ag \quad ; \quad Cu^{2+} + 2NO_3^- \rightarrow Cu(NO_3)_2$$

2.21. কপারের ব্যবহার [Uses of Copper]

(i) বিদ্যুৎ সুপরিবাহী বলে আমাদের দৈনন্দিন জীবনে তামার ব্যবহার প্রচুর। টেলিগ্রাম, টেলিফোনের তার, তড়িৎ-পরিবহনের তার ও অন্যান্য বৈদ্যুতিক যন্ত্রপাতি প্রস্তুতিতে কপার প্রচুর ব্যবহৃত হয়। **(ii)** তড়িৎ-লেপনে, তড়িৎ-বিশ্লেষণে, অক্ষর ও ছাঁচ প্রস্তুতিতে কপার ব্যবহৃত হয়। **(iii)** মুদ্রা ও রান্নার বাসনপত্র প্রস্তুতিতে কপার ব্যবহৃত হয়। **(iv)** নানারকম প্রয়োজনীয় সংকর ধাতু প্রস্তুতিতে কপার ব্যবহৃত হয়।

● **কপারের সংকর ধাতু** (Alloy) **: (1) পিতল অথবা ব্রাস :** (80% Cu + 20% Zn) বাসনপত্র, যন্ত্রের বিভিন্ন অংশ ও ঢালাইয়ের জিনিস এবং টেলিস্কোপ, ব্যারোমিটার প্রভৃতি যন্ত্র প্রস্তুতে ব্যবহৃত হয়।

(2) ব্রোঞ্জ : (75—90)% Cu, (10—25)% Sn মূর্তি ও মুদ্রা প্রস্তুতিতে।

(3) কাঁসা : (80% Cu + 20% Sn) ঘণ্টা এবং বাসন প্রস্তুতিতে এর ব্যবহার বেশি।

(4) জার্মান সিলভার : (50% Cu + 30% Zn + 20% Ni) বাসন, ফুলদানি, গহনা ইত্যাদি প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত হয়।

(5) মোনেল মেটাল : (33% Cu + 60% Ni + 7% Fe) সমুদ্রগামী জাহাজের টারবাইন, পাখা, বয়লার প্রভৃতি প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত হয়।

(6) অ্যালুমিনিয়াম ব্রোঞ্জ : [Cu (90%), Al (10%)] মূর্তি, মুদ্রা, ফটোফ্রেম প্রভৃতি প্রস্তুতে ব্যবহৃত হয়।

অনুশীলনী

1. (a) তামার প্রধান আকরিক, যা থেকে তামা নিষ্কাশন করা হয়, তার নাম ও সংকেত লেখো। তামার এই আকরিক থেকে ব্লিস্টার কপার নিষ্কাশন প্রণালীর বর্ণনা দাও। **(b)** রাসায়নিক বিক্রিয়াগুলির সমীকরণ দাও।

2. (a) সংকেত সহ তামার দুটি আকরিকের নাম লেখো। **(b)** গাঢ়ীকৃত কপার পাইরাইটিস থেকে ব্লিস্টার কপার উৎপন্ন করার জন্য বিভিন্ন ধাপে যে যে রাসায়নিক বিক্রিয়াগুলি ঘটে, তার একটি সংক্ষিপ্ত বিবরণ দাও। **(c)** ব্লিস্টার কপারের বিশুদ্ধিকরণ পদ্ধতি বর্ণনা করো।

3. **(a)** কপারের ব্যবহার সম্বন্ধে লেখো। **(b)** অ্যানোড মাড কী বস্তু? এর থেকে কী পাওয়া যায়?

4. সালফাইড আকরিক থেকে ধাতব কপার নিষ্কাশনের বিষয়ে নীচের তথ্যগুলি পরিবেশন করো ঃ

(i) পদ্ধতিতে ব্যবহৃত মুখ্য কাঁচামালগুলির নাম। **(ii)** প্রত্যেকটি কাঁচামালের ভূমিকা। **(iii)** ব্যবহৃত বায়ুর ভূমিকা। **(iv)** কপার নিষ্কাশনকারী বিক্রিয়াসমূহ। **(v)** সিলিকার ভূমিকা। **(vi)** নিষ্কাশিত কপার সংগ্রহ। **(vii)** দুটি উপজাত পদার্থের নাম ও ব্যবহার।

5. কী ঘটে সমিত সমীকরণ সহ আলোচনা করো—

(i) কপার সালফেট দ্রবণে লৌহচূর্ণ যোগ করা হল। **(ii)** কপার সালফেট দ্রবণে একটুকরো Al পাত প্রবেশ করানো হল। **(iii)** কিউপ্রিক অক্সাইড ও কপার চূর্ণের মিশ্রণকে গাঢ় HCl সহযোগে উত্তপ্ত করে শীতল জলে ঢালা হল। **(iv)** ঘন এবং উত্তপ্ত নাইট্রিক অ্যাসিডে কপার চূর্ণ যোগ করা হল। **(v)** কিউপ্রিক ক্লোরাইড দ্রবণে Cu চূর্ণ এবং গাঢ় HCl যোগ করে ফোটানো হল। **(vi)** বায়ুর উপস্থিতিতে ধাতব কপারের সঙ্গে HCl-এর বিক্রিয়া ঘটানো হল।

6. কারণ ব্যাখ্যা করো ঃ **(a)** কপার নিষ্কাশনে স্বতঃবিজারণের সময়ে বিসিমার কনভার্টারের ভেতরের গায়ে সিলিকার প্রলেপ দেওয়া হয়। **(b)** লঘু অ্যাসিড দ্রবণ থেকে জিঙ্কের দ্বারা বিক্রিয়া ঘটিয়ে H_2 পাওয়া যায়, কিন্তু কপারের দ্বারা পাওয়া যায় না। **(c)** অ্যালুমিনিয়াম বা লোহার পাত্রে কপার সালফেট রাখা হয় না। **(d)** Cu_2S-কে পুড়িয়ে ধাতব কপার পাওয়া যায়। **(e)** স্বতঃবিজারণের সময় কনভার্টারের মধ্যে তীব্র বেগে উত্তপ্ত বায়ুপ্রবাহ চালনা করা হয়—অথচ উৎপন্ন Cu জারিত হয় না কেন? **(f)** কপারের পরিবর্তনশীল যোজ্যতা দেখা যায়। **(g)** কপার সালফেটের বর্ণ নীল, এই নীল দ্রবণে একটি Zn-এর দানা যোগ করলে ক্রমশ বর্ণহীন হয়। **(h)** ব্লিস্টার কপারের গায়ে ফোস্কার মতো দাগ দেখা যায়। **(i)** আর্দ্র বায়ুতে রেখে দিলে ধাতব কপারের ওপর সবুজ আস্তরণ পড়ে। **(j)** চ্যালকোসাইট আকরিককে কপার নিষ্কাশনের জন্য ভস্মীকরণ না করে তাপজারিত করা হয়। **(k)** Cu ধাতু HNO_3-তে দ্রবীভূত হয় কিন্তু HCl-এ হয় না।

7. কীভাবে প্রস্তুত করবে বর্ণনা করো ঃ **(i)** লঘু H_2SO_4-এর সাহায্যে কপারের টুকরো থেকে কপার সালফেট। **(ii)** পরিত্যক্ত কপার বা, কপারের ছাঁট থেকে ব্লু-ভিট্রিয়ল। **(iii)** তাপ বিদ্যুৎ ব্যবহার না করে কীরূপে কপার সালফেট থেকে কপার প্রস্তুত করবে?

8. Cu-এর সঙ্গে প্রদত্ত পদার্থগুলির বিক্রিয়া বর্ণনা করো—**(a)** HNO_3, **(b)** HCl, **(c)** Cl_2, **(d)** H_2SO_4।

9. *M* একটি ধাতু। তড়িৎ-রাসায়নিক শ্রেণিতে ধাতুটির স্থান H_2-এর নীচে। ধাতুটির যোজ্যতা = 2.

(i) ধাতুটির সঙ্গে জলের কোনো বিক্রিয়া হবে কি? **(ii)** লঘু HCl-এর সঙ্গে ধাতুটির বিক্রিয়া হবে কি? **(iii)** ধাতুটির অক্সাইডের ওপর অ্যাসিডের বিক্রিয়া কী হবে? **(iv)** ধাতুটির নাইট্রেটকে তীব্রভাবে উত্তপ্ত করলে কী হবে? **(v)** ধাতুটির কার্বনেটের ওপর তাপের ক্রিয়ায় কী হবে? **(vi)** ধাতুটির নিষ্কাশন করতে হলে কোন্ পদ্ধতি প্রয়োগ করতে হবে একটি পরামর্শ দাও।

10. একটি ধাতু *M*, লঘু H_2SO_4-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে না। জলের সঙ্গে কোনো অবস্থাতেই বিক্রিয়া করে না। ক্ষারের সঙ্গে বিক্রিয়া করে না। ধাতুটির অক্সাইড NH_3 দ্বারা বিজারিত হয়ে ধাতু উৎপন্ন করে। ধাতুটির লবণে অতিরিক্ত NH_4OH যোগ করলে গাঢ় নীল বর্ণের দ্রবণ পাওয়া যায়। ধাতুটির নাম করো এবং যুক্তি দ্বারা প্রমাণ করো। ধাতুটির নিষ্কাশন প্রণালী বর্ণনা করো।

11. ম্যাট কাকে বলে? ম্যাট থেকে কপার নিষ্কাশনের রাসায়নিক বিক্রিয়াগুলি আলোচনা করো।

নৈর্ব্যক্তিক প্রশ্ন ঃ

[A] সঠিক উত্তর বা উত্তরগুলি নির্বাচন করো ঃ

(1) Gr I-A থেকে IB ধাতুগুলির মধ্যে নীচের পার্থক্যগুলি দেখা যায়—**(a)** পরিবর্তনশীল যোজ্যতা, **(b)** উচ্চ-রাসায়নিক সক্রিয়তা, **(c)** বহুরূপতা, **(d)** জটিল আয়ন গঠনের প্রবণতা। [***Ans.*** (a) (d)]

(2) কিউপ্রিক লবণকে ধাতব Cu এবং গাঢ় HCl দ্বারা উত্তপ্ত করলে বর্ণহীন দ্রবণ পাওয়া যায়, যা হল— **(a)** $CuCl_2$, **(b)** Cu_2Cl_2, **(c)** $H[CuCl_2]$, **(d)** $H[CuCl_3]$. [***Ans.*** (c)]

(3) জার্মান সিলভারের দুটি উপাদান হল— **(a)** Ag-Cu, **(b)** Ag-Zn, **(c)** Cu-Zn, **(d)** Cu-Ni [***Ans.*** (c) (d)]

(4) তাপে যে যৌগ অক্সিজেন দেয়, তা হল— **(a)** CuO, **(b)** HgO, **(c)** ZnO, **(d)** Al_2O_3. [***Ans.*** (b)]

(5) নীচের কোন সংকর ধাতুর মধ্যে Cu এবং Zn আছে? **(a)** ব্রোঞ্জ, **(b)** ব্রাস, **(c)** গান মেটাল, **(d)** টাইপ মেটাল। [***Ans.*** (b)]

(6) ব্লিস্টার কপার হল— **(a)** Cu-এর আকরিক, **(b)** বিশুদ্ধ Cu, **(c)** Cu-এর সংকর ধাতু, **(d)** 1% অশুদ্ধিযুক্ত ধাতব Cu. [***Ans.*** (d)]

(7) নীচের কোনটিকে মালাকাইট বলে?— **(a)** Cu_2S, **(b)** $CuCO_3$ $Cu(OH)_2$, **(c)** Cu_2O **(d)** $CuCO_3$. [***Ans.*** (b)]

(8) কপার পাইরাইটিস থেকে ধাতব Cu নিষ্কাশনে বিগলন প্রক্রিয়ায় যে ধাতুমল পাওয়া যায় তাহল প্রধানত— **(a)** Cu_2S, **(b)** $FeSiO_3$, **(c)** $CuSiO_3$, **(d)** SiO_2. [***Ans.*** (b)]

● জিঙ্ক ধাতু ●

চিহ্ন ঃ Zn, আণবিক ভর ঃ 65·85, পারমাণবিক সংখ্যা ঃ 30, ইলেকট্রন বিন্যাস ঃ $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2$

2.22. প্রকৃতির মধ্যে জিঙ্কের অবস্থান [Occurrence of Zinc in nature]

প্রকৃতির মধ্যে মুক্ত অবসথায় জিঙ্ক পাওয়া যায় না। বিভিন্ন যৌগ রূপে জিঙ্ককে প্রকৃতির মধ্যে পাওয়া যায়। জিঙ্কের প্রধান আকরিকগুলি হল—

(1) অক্সাইড রূপে জিঙ্কাইট (Zincite) [ZnO], **ফ্রাঙ্কলিনাইট** (Franklinite) [ZnO, Fe_2O_3].

(2) সালফাইড রূপে জিঙ্ক ব্লেন্ড(Zinc blend) [ZnS].

(3) কার্বনেট রূপে ক্যালামাইন (Calamine) [$ZnCO_3$].

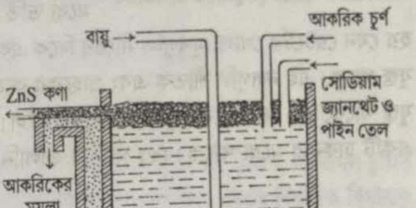
জিঙ্ক ব্লেন্ড জিঙ্কের প্রধান আকরিক—এই আকরিক থেকেই জিঙ্ক ধাতু নিষ্কাশন করা হয়।

2.23. জিঙ্কের নিষ্কাশন [Extraction of Zinc]

অধিকাংশ জিঙ্ক, **জিঙ্ক ব্লেন্ড আকরিক** থেকে নিষ্কাশন করা হয়, সামান্য কিছু পরিমাণ **জিঙ্ক ক্যালামাইন আকরিক** থেকেও নিষ্কাশন করা হয়।

(1) কার্বন-বিজারণ পদ্ধতি (Carbon reduction process) ঃ

(A) গাঢ়ীকরণ ঃ জিঙ্ক ব্লেন্ডের সঙ্গে সামান্য পরিমাণ **গ্যালেনা (PbS), ক্যাডমিয়াম সালফাইড (CdS)** এবং বালি, মাটি, কাদা ইত্যাদি অপদ্রব্য উপস্থিত থাকে। জিঙ্ক ব্লেন্ড আকরিককে চূর্ণ করে চূর্ণ আকরিককে ট্যাঙ্কের জলে যোগ করে, ওই জলে **পাইন তেল, সোডিয়াম জ্যানথেট** এবং **সামান্য অ্যাসিড** যোগ করে জলে ডোবানো একটি সচ্ছিদ্র নলের মধ্য দিয়ে প্রবল বেগে বায়ুপ্রবাহ চালনা করা হয়। এর ফলে তেল ও জলের মিশ্রণে প্রচুর ফেনা উৎপন্ন হয়। উৎপন্ন এই ফেনার সঙ্গে প্রথমে গ্যালেনা (PbS) ভেসে ওঠে। একে অপসারিত করার পর আরও অ্যাসিড এবং পাইন তেল যোগ করে মিশ্রণটিকে আবার বায়ুপ্রবাহ চালনা করে আলোড়িত করলে দ্বিতীয়বারে উৎপন্ন ফেনার সঙ্গে জিঙ্ক সালফাইডের কণাগুলি আটকে উপরে ভেসে উঠে, কিন্তু বালি, মাটি, অন্য ধাতব সিলিকেট জলে ভিজে ভারী হয়ে নীচে থিতিয়ে পড়ে। ওই ফেনাকে সংগ্রহ করে শুষ্ক করলে গাঢ়ীকৃত আকরিক পাওয়া যায়।



চিত্র 2.19 ঃ তৈল ভাসন প্রণালীতে গাঢ়ীকরণ

(B) তাপ জারণ ঃ (i) গাঢ়ীকৃত শুষ্ক আকরিককে উত্তপ্ত বায়ুপ্রবাহ দ্বারা জিঙ্কের গলনাঙ্কের কম উষ্ণতায় (850—900°C) **বহু কক্ষ বিশিষ্ট চুল্লির** মধ্যে উত্তপ্ত করে **অক্সাইডে** পরিণত করা হয়।

(ii) এই প্রক্রিয়া সতর্কতার সঙ্গে সম্পন্ন করা হয়। তাপ জারণের সময় **উষ্ণতা ও বায়ুপ্রবাহ এমনভাবে নিয়ন্ত্রিত করা হয়, যেন জিঙ্ক সালফাইড পুরোপুরি জিঙ্ক অক্সাইডে পরিণত হয়**—একটুও যেন জিঙ্ক **সালফেটে** পরিণত না হয়, কারণ **জিঙ্ক সালফেটে পরিণত হলে পরের প্রক্রিয়া কার্বন বিজারণে, জিঙ্ক সালফেট বিজারিত হয়ে আবার জিঙ্ক সালফাইডে পরিণত হবে।**

$$2ZnS + 3O_2 = 2ZnO + 2SO_2\uparrow$$

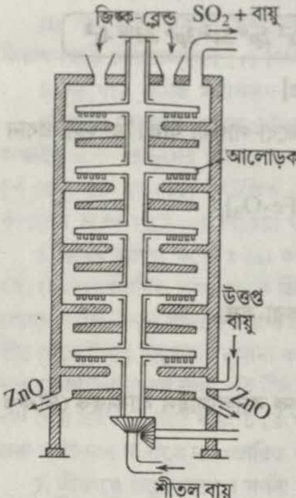
(iii) চুল্লির মধ্যে উত্তপ্ত বায়ুপ্রবাহ দ্বারা সামান্য জিঙ্ক সালফাইড জারিত হয়ে জিঙ্ক সালফেট উৎপন্ন করে, কিন্তু উৎপন্ন $ZnSO_4$ উচ্চ উষ্ণতায় বিয়োজিত হয়ে ZnO-তে পরিণত হয়।

$$ZnS + 2O_2 = ZnSO_4 \quad ; \quad 2ZnSO_4 = 2ZnO + SO_2 + O_2$$

(iv) ক্যালামাইন আকরিক হলে, উত্তাপে বিয়োজিত হয়ে অক্সাইডে পরিণত হয়। $ZnCO_3 = ZnO + CO_2$

এই তাপ-জারণ প্রক্রিয়া **হোরেসফ চুল্লিতে** সম্পন্ন করা হয়। চুল্লিটি গোলাকার ড্রামের মতো, বাইরের দিকটা স্টিলের প্লেট দিয়ে তৈরি ও ভিতরের দিক অগ্নিসহ ইটের তৈরি। চুল্লির ভিতরে অগ্নিসহ ইটের তৈরি অনেকগুলি তাক আছে। উপরের দিকে দুটি প্রবেশদ্বারের সাহায্যে গাঢ়ীকৃত আকরিককে চুল্লির মধ্যে ফেলা হয়। চুল্লির মাঝখানে খাড়া একটি দণ্ড আছে, এই দণ্ডের সঙ্গে অনেকগুলি আলোড়ক যুক্ত থাকে। মাঝের দণ্ডটি ধীরে ধীরে ঘুরতে থাকে, ফলে আলোড়কগুলি গাঢ়ীকৃত আকরিককে এক তাক

থেকে অন্য তাকে চালনা করে। চুল্লির নীচে নলের সাহায্যে উত্তপ্ত বায়ুপ্রবাহ চুল্লির মধ্যে চালনা করা হয়। বিক্রিয়ার ফলে উৎপন্ন SO_2 চুল্লির উপরের একটি নির্গম-নল দিয়ে বেরিয়ে যায়। বায়ুপ্রবাহ নিয়ন্ত্রিত রাখা হয় এবং চুল্লির উষ্ণতা 850°C—900°C-এর মধ্যে রাখা হয়। এর ফলে সমস্ত জিঙ্ক সালফাইড জিঙ্ক অক্সাইডে পরিণত হয়।



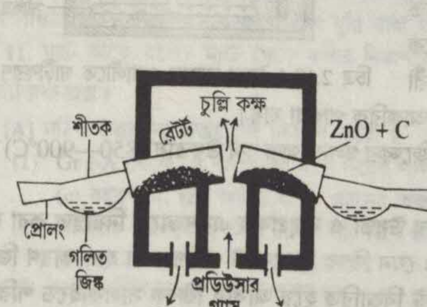
চিত্র 2.20 : হোরেস্‌ফ চুল্লিতে তাপজারণ

● **জিঙ্ক ব্লেন্ডের তাপ জারণের সময় বায়ুপ্রবাহ এবং উষ্ণতা নিয়ন্ত্রিত করা হয়, এর কারণ হল—** জিঙ্ক ব্লেন্ডের তাপজারণের সময় বায়ুপ্রবাহের পরিমাণ বেশি হলে এবং উষ্ণতা 850°C-এর কম হলে, ZnS বায়ুর O_2 দ্বারা জারিত হয়ে $ZnSO_4$-এ পরিণত হয়। $ZnS + 2O_2 = ZnSO_4$। এই $ZnSO_4$ পরের পর্যায়ে কার্বন বিজারণের সময় বিজারিত হয়ে আবার ZnS-এ পরিণত হয়। $ZnSO_4 + 4C = ZnS + 4CO$. চুল্লির উষ্ণতা 850°C-এর উপরে রাখলে এবং নিয়ন্ত্রিত বায়ুপ্রবাহ করলে সামান্য যে পরিমাণ $ZnSO_4$ উৎপন্ন হয়, তা উচ্চতাপে বিয়োজিত হয়ে ZnO-তে পরিণত হয়। $2ZnSO_4 = 2ZnO + 2SO_2\uparrow + O_2$

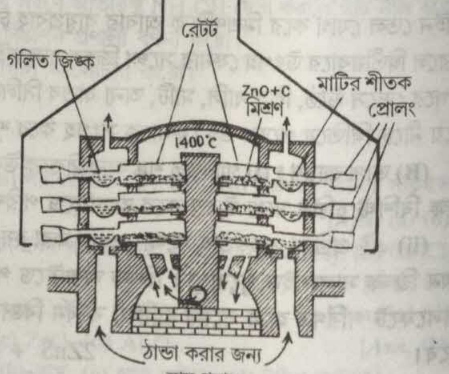
তাপ জারণের সময় ZnS যেন $ZnSO_4$-এ পরিণত না হয়—তাই বায়ুপ্রবাহ এবং উষ্ণতা নিয়ন্ত্রিত করা হয়।

(C) কার্বন বিজারণ (Carbon reduction) :

(i) তাপ জারণের ফলে উৎপন্ন **জিঙ্ক অক্সাইডকে,** তার ওজনের $\frac{1}{5}$ অংশ ওজনবিশিষ্ট কোকের গুঁড়ার সঙ্গে ভালো করে মিশিয়ে, ফায়ার ক্লে দ্বারা তৈরি ছোটো ছোটো রেটর্টের মধ্যে ভর্তি করা হয়। এইরকম অনেকগুলি রেটর্টকে চুল্লির মধ্যে এমনভাবে সাজিয়ে রাখা হয় যেন রেটর্টের খোলা মুখগুলি নীচের দিকে একটু কাত করা থাকে। **(ii)** প্রত্যেকটি রেটর্টের মুখে একটি করে মাটির তৈরি নল যুক্ত থাকে। এই নলগুলি শীতক এবং গ্রাহকের কাজ করে। **(iii)** প্রত্যেকটি শীতকের শেষ প্রান্তের সঙ্গে একটি করে লোহার নল যুক্ত থাকে, এই লোহার নলগুলিকে **প্রোলং** বলে। **(iv)** রেটর্টের মুখ, শীতক এবং প্রোলংগুলি চুল্লির বাইরে থাকে। সমগ্র চুল্লিটি একটি ঢাকনার মধ্যে থাকে। **(v)** গ্যাসীয় জ্বালানি প্রোডিউসার গ্যাসের সাহায্যে ZnO এবং কোকের মিশ্রণ রেটর্টগুলিকে প্রায়



চিত্র 2.21



চিত্র 2.22 : ZnO-এর কার্বন বিজারণ

1300°C—1400°C উষ্ণতা পর্যন্ত উত্তপ্ত করা হয়। **(vi)** এই উচ্চ উষ্ণতায় ZnO কোক দ্বারা বিজারিত হয়ে ধাতব জিঙ্ক এবং কার্বন মনোক্সাইড উৎপন্ন করে। এই উচ্চ উষ্ণতায় উৎপন্ন জিঙ্ক (স্ফুটনাঙ্ক 920°C) বাষ্পে পরিণত হয়ে রেটর্ট থেকে বেরিয়ে মাটির শীতকে শীতল এবং ঘনীভূত হয়ে তরলরূপে জমা হয়। **(vii)** গ্রাহকের উত্তাপ ক্রমশ বাড়ার ফলে জিঙ্ক বাষ্পের কিছুটা জিঙ্ক অক্সাইডের সঙ্গে মেশানো অবস্থায় প্রোলং-এ গুঁড়ার আকারে সঞ্চিত হয়। প্রোলং-এর খোলা মুখে কার্বন মনোক্সাইড নীল শিখায় জ্বলতে থাকে। **(viii) বিজারণ ক্রিয়ার সমাপ্তি বোঝার উপায় :** বিজারণ ক্রিয়া শেষ হলে CO উৎপন্ন হয় না—তখন প্রোলং-এর মুখে CO আসতে পারে না। এই সময় উচ্চ উষ্ণতায় শুধু জিঙ্কের বাষ্প বেরিয়ে আসতে থাকে। এই জিঙ্ক বাষ্প সাদা শিখার আকারে

প্রোলং-এর মুখে জ্বলতে থাকে। এই শিখা দেখেই বোঝা যায় বিক্রিয়াটি সম্পূর্ণ হয়েছে। গলিত জিঙ্ককে সরিয়ে ছাঁচে ফেলে ব্লকের আকার দেওয়া হয়।

$$ZnO + C = Zn + CO\uparrow$$

(D) বিশোধন (Purification) ঃ (i) আংশিক পাতন ঃ কার্বন বিজারণে প্রাপ্ত জিঙ্কের মধ্যে Fe, Al, Cd, Sb, As প্রভৃতি অশুদ্ধি থাকে। এই অশুদ্ধি যুক্ত জিঙ্ককে **স্পেলটার (Spelter)** বলে। আংশিক পাতন দ্বারা জিঙ্কের বিশোধন করা হয়। প্রথমে স্পেলটারকে 900°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত করলে Zn এবং Cd পাতিত হয়ে অন্যান্য অশুদ্ধি থেকে পৃথক হয়। এরপর Zn এবং Cd ধাতুর গলিত মিশ্রণকে আবার 767°C উষ্ণতায় পাতিত করলে Cd পাতিত হয়ে বেরিয়ে যায় (Cd-এর স্ফুটনাঙ্ক 767°C), বিশুদ্ধ জিঙ্ক (99·9%) অবশেষরূপে পড়ে থাকে। **ক্যাডমিয়াম (Cd) উপজাত দ্রব্যরূপে পাওয়া যায়।**

(ii) তড়িৎ বিশোধন ঃ অতি বিশুদ্ধ জিঙ্ক পেতে হলে লঘু H_2SO_4 মেশানো লঘু জিঙ্ক সালফেট দ্রবণকে তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যরূপে ব্যবহার করে **স্পেলটার জিঙ্কের দণ্ডকে অ্যানোড এবং অ্যালুমিনিয়াম পাতকে ক্যাথোডরূপে** ব্যবহার করে তড়িৎপ্রবাহ করলে অ্যানোডের জিঙ্ক দ্রবীভূত হয় এবং অতি বিশুদ্ধ জিঙ্ক Al ক্যাথোডে জমা হয়।

$$ZnSO_4 \rightleftharpoons Zn^{2+} + SO_4^{2-}$$

ক্যাথোডে ঃ $Zn^{2+} + 2e = Zn$, **অ্যানোডে ঃ** $Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e$

● **কার্বন বিজারণে তাপজারিত আকরিকের সঙ্গে অতিরিক্ত কোক যোগ করা হয় কেন?**

কার্বন বিজারণের সময়, ZnO কোক দ্বারা বিজারিত হয়ে ধাতব জিঙ্ক এবং CO ও CO_2 উৎপন্ন করে। CO_2 আবার Zn-কে উচ্চ উষ্ণতায় জারিত করে আবার ZnO-কে পরিণত করে। তাই কার্বন বিজারণের সময় যেন CO_2 উৎপন্ন হতে না পারে সেজন্য প্রয়োজনের অতিরিক্ত কোক যোগ করা হয়। বিজারণের সময় CO_2 উৎপন্ন হলে এই অতিরিক্ত কোক CO_2-কে বিজারিত করে CO-তে পরিণত করে, ফলে উৎপন্ন Zn, CO_2 দ্বারা জারিত হতে পারে না।

$$ZnO + C = Zn + CO\uparrow \quad ; \quad 2ZnO + C \rightleftharpoons 2Zn + CO_2\uparrow$$

$$CO_2 + C \rightleftharpoons 2CO - \text{তাপ}$$

● **কার্বন বিজারণ পদ্ধতিতে জিঙ্ক নিষ্কাশনে বিগালক লাগে না কেন?**

কতকগুলি ধাতুর ক্ষেত্রে তাপ জারিত আকরিকের বিগলন প্রক্রিয়ায় কার্বন বিজারণে ধাতু উৎপন্নের সময় ওর মধ্যস্থ খনিজমল চুল্লির উচ্চ উষ্ণতায় পৃথকভাবে গলে না। এর ফলে উৎপন্ন গলিত ধাতুর সঙ্গে ওই অশুদ্ধিগুলি মিশে যায়। এই সব ক্ষেত্রে নির্বাচিত বিগালক যোগ করা হয় যেগুলি অশুদ্ধিগুলির সঙ্গে বিক্রিয়া করে এমন পদার্থ উৎপন্ন করে যা ওই উষ্ণতায় গলে যায়। উৎপন্ন গলিত পদার্থ গলিত ধাতুর চেয়ে হালকা বলে চুল্লির নীচে জমে থাকা গলিত ধাতুর উপরে পৃথক স্তর গঠন করে ভাসতে থাকে—একে সহজে পৃথক করা যায়। কিন্তু যেহেতু 1400°C উষ্ণতায় খনিজমল বাষ্পীভূত হয় না, কিন্তু কার্বন বিজারণ দ্বারা উৎপন্ন জিঙ্ক ধাতু বাষ্পীভূত হয়ে মাটির শীতকে শীতল ও ঘনীভূত হয়ে তরলরূপে জমা হয়, তাই জিঙ্কের তাপজারিত আকরিকের সঙ্গে বিগালক যোগ করার দরকার হয় না—অশুদ্ধিগুলি রেটর্টেই পড়ে থাকে।

● **জিঙ্কের স্ফুটনাঙ্ক 920°C তবু কার্বন বিজারণ বিক্রিয়াটি 1300°C—1400°C উষ্ণতায় ঘটানো হয় কেন?**

জিঙ্কের স্ফুটনাঙ্ক 920°C, তবু ZnO-এর কার্বন বিজারণ বিক্রিয়াটি 1300°C—1400°C উষ্ণতায় ঘটানো হয়। কারণ ZnO-এর কার্বন বিজারণে যে CO_2 উৎপন্ন হয়, সেই CO_2-এর সঙ্গে অতিরিক্ত কোকের বিক্রিয়ায় CO উৎপন্ন হয়। এই বিক্রিয়াটি তাপ শোষক বিক্রিয়া। $CO_2 + C \rightleftharpoons 2CO$ – তাপ, তাই 920°C উষ্ণতায় বিক্রিয়াটি ঘটালে স্বভাবতই উষ্ণতা অনেক কমে যাবে—তখন ওই উষ্ণতায় জিঙ্ক বাষ্পীভূত হয়ে রেটর্ট থেকে বেরিয়ে শীতকে জমা হবে না। তাছাড়া শাতেলিয়রের নীতি অনুযায়ী উচ্চ উষ্ণতা উভমুখী বিক্রিয়াটিকে সম্মুখমুখী করে, ফলে CO_2 উৎপন্ন হওয়ার সুযোগ থাকে না।

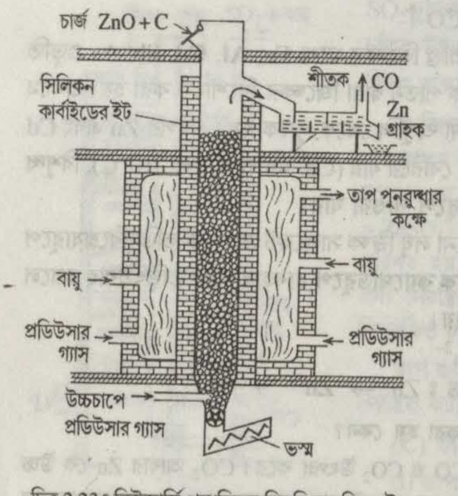
● **ব্লাস্ট ফার্নেসে জিঙ্ক উৎপন্ন করা হয় না কেন?**

জিঙ্ক ধাতু কার্বন বিজারণ পদ্ধতি দ্বারা নিষ্কাশিত হলেও ZnO-এর বিজারণের জন্য ব্লাস্ট ফার্নেস ব্যবহার করা যায় না। এর কারণ হল, ব্লাস্ট ফার্নেসের সর্বোচ্চ উষ্ণতা প্রায় 1500°C। জিঙ্কের স্ফুটনাঙ্ক 920°C। সুতরাং ব্লাস্ট ফার্নেসের মধ্যে ZnO-এর কার্বন বিজারণ দ্বারা যে ধাতব Zn উৎপন্ন হয় তা Zn-এর বাষ্পে পরিণত হয় যা বায়ুর O_2-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে ZnO-তে পরিণত হয়। উৎপন্ন ZnO বাষ্পরূপে চুল্লির প্রবল বায়ুপ্রবাহ দ্বারা বাহিত হয়ে নির্গম নল দিয়ে বেরিয়ে যায়। সুতরাং ধাতব Zn আয়রনের মতো গলিত অবস্থায় চুল্লির নীচে জমা হয় না।

(2) আধুনিক পদ্ধতি—নিউজার্সি পদ্ধতি (Modern Process—New Jursey process) ঃ

পূর্ববর্ণিত **বেলজিয়ান পদ্ধতিতে** চুল্লির মধ্যে একটানা জিঙ্ক উৎপন্ন করা যায় না। **কার্বন বিজারণ পদ্ধতিতে** নিরবচ্ছিন্নভাবে

জিঙ্ক নিষ্কাশনের জন্য বর্তমানকালে এক বিশেষ ধরনের চুল্লি ব্যবহার করা হয়। **(i)** চুল্লিটি **সিলিকন** কার্বাইড নির্মিত অগ্নিসহ ইট দিয়ে তৈরি। চুল্লিটি চতুষ্কোণ, লম্বা এবং খাড়া। **(ii)** চুল্লির বাইরে থেকে চারদিকে প্রোডিউসার গ্যাস এবং বায়ুর মিশ্রণকে জ্বালিয়ে চুল্লিটিকে প্রায় 1400°C উষ্ণতায় রাখা হয়। **(iii)** উপরের পথে ZnO এবং কোকের মিশ্রণ (চার্জ) ইটের আকারে চুল্লির মধ্যে প্রবেশ করানো হয়। ZnO, কোক দ্বারা বিজারিত হয়ে ধাতব Zn এবং CO উৎপন্ন করে। ZnO + C = Zn + CO. **(iv)** উৎপন্ন Zn (b.p. 920°C) বাষ্পাকারে, CO-এর সঙ্গে উপরের একটি নির্গম নল দিয়ে বেরিয়ে আসে এবং একটি শীতল প্রকোষ্ঠে প্রবেশ করে। এখানে জিঙ্ক বাষ্প তরল হয়। **(v)** ভারী জিঙ্ক বাষ্পকে উপরের পথে বের করার জন্য চুল্লির নীচ থেকে উচ্চচাপে বায়ু এবং প্রডিউসার গ্যাস চালনা করা হয়। ধাতুমল ও ভস্ম চুল্লির নীচে জমা হয়। এই প্রক্রিয়ায় নিরবচ্ছিন্নভাবে জিঙ্ক নিষ্কাশন চলতে থাকে।



চিত্র 2.23 ঃ নিউজার্সি পদ্ধতিতে নিরবিচ্ছন্ন জিঙ্ক উৎপাদন

(3) সিক্ত পদ্ধতিতে জিঙ্ক নিষ্কাশন—তড়িৎ বিজারণ পদ্ধতি ঃ

(i) জিঙ্ক ব্লেন্ড আকরিককে চূর্ণ করে তৈলভাসন প্রণালীতে গাঢ় করা হয়।

(ii) গাঢ়ীকৃত জিঙ্ক ব্লেন্ড আকরিককে **700°C উষ্ণতায় অতিরিক্ত বায়ুপ্রবাহ দ্বারা তাপ জারিত করে জিঙ্ক সালফেটে পরিণত করা হয়।** উষ্ণতা বেশি বাড়ানো হয় না, কারণ 767°C উষ্ণতার উপরে $ZnSO_4$ বিয়োজিত হয়ে ZnO-তে পরিণত হয়।

$$ZnS + 2O_2 = ZnSO_4\ (650°C—700°C)\ ;\ 2ZnS + 3O_2 = 2ZnO + 2SO_2\uparrow\ (900°C)$$

(iii) তাপ-জারিত আকরিকের সঙ্গে গাঢ় H_2SO_4 মেশানো হয়। উচ্চ অ্যাসিড পদ্ধতিতে 28% H_2SO_4 দ্রবণ দ্বারা অশুদ্ধিযুক্ত $ZnSO_4$ দ্রবীভূত করা হয়। এই দ্রবণের ব্যবহারের সুবিধা এই যে জারণের সময় যদি কিছু জিঙ্ক ফেরাইট (ZnO, Fe_2O_3) উৎপন্ন হয় তাও এই অ্যাসিডে দ্রবীভূত হয়ে যায়। এই অ্যাসিড দ্রবণ বেশি করে আয়রন দ্রবীভূত করে যা চুন দ্বারা প্রশমন ক্ষণে দ্রবণে অশুদ্ধি রূপে থাকা As, Sb-কে অধঃক্ষিপ্ত করে। এর ফলে অশুদ্ধিযুক্ত $ZnSO_4$ দ্রবীভূত হয় এবং সামান্য ZnO (যদি থাকে) সালফেটে পরিণত হয়ে অ্যাসিডে দ্রবীভূত হয়ে যায়। অন্যান্য অশুদ্ধি যেমন Al, Fe, Cd ইত্যাদিও দ্রাব্য সালফেটরূপে দ্রবণে চলে যায়।

(iv) এই দ্রবণে চুনগোলা মিশিয়ে নাড়া হয়। এর ফলে Al, Fe ইত্যাদি অদ্রাব্য হাইড্রক্সাইড এবং সিলিকা ক্যালশিয়াম সিলিকেটরূপে অধঃক্ষিপ্ত হয়।

$$Ca(OH)_2 + SiO_2 = CaSiO_3\downarrow + H_2O$$
$$Al_2(SO_4)_3 + 3Ca(OH)_2 = 2Al(OH)_3\downarrow + 3CaSO_4\downarrow$$

(v) এগুলিকে ছেঁকে পৃথক করে পরিস্রুতের সঙ্গে সামান্য জিঙ্ক চূর্ণ যোগ করে আলোড়িত করা হয়। এর ফলে অপেক্ষাকৃত বেশি নিষ্ক্রিয় ধাতুগুলি যেমন Cu এবং Cd প্রতিস্থাপিত হয়ে অধঃক্ষিপ্ত হয়।

$$CuSO_4 + Zn = ZnSO_4 + Cu\downarrow\ ;\ CdSO_4 + Zn = ZnSO_4 + Cd\downarrow$$

অধঃক্ষেপগুলি ছেঁকে দূর করলে বিশুদ্ধ জিঙ্ক সালফেটের দ্রবণ পাওয়া যায়।

(vi) বিশুদ্ধ জিঙ্ক সালফেটের তড়িদ্‌বিশ্লেষণ ঃ এইভাবে প্রাপ্ত বিশুদ্ধ জিঙ্ক সালফেট দ্রবণকে অ্যাসিডযুক্ত করে Al ক্যাথোড ও Pb অ্যানোড ব্যবহার করে তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করলে ক্যাথোডে শতকরা 99·95 ভাগ বিশুদ্ধ জিঙ্ক ধাতু পাওয়া যায়।

$$ZnSO_4 \rightleftharpoons Zn^{3+} + SO_4^{2-}\ ;\qquad H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$$

ক্যাথোডে ঃ $Zn^{2+} + 2e = Zn$ অ্যানোডে ঃ $OH^- + e = OH$

$$4OH = 2H_2O + O_2\uparrow$$

তড়িদ্‌বিশ্লেষণের শেষে তড়িদ্‌বিশ্লেষণ পাত্রে H_2SO_4 পড়ে থাকে—একে আবার দ্রবণ প্রস্তুতিতে ব্যবহার করা হয়।

এখানে তড়িৎ রাসায়নিক শ্রেণিতে জিঙ্কের স্থান H_2-এর অনেক উপরে হলেও হাইড্রোজেন ওভার ভোল্টেজের জন্য ক্যাথোডে H_2 মুক্ত না হয়ে Zn মুক্ত হয়।

● **কার্বন বিজারণ পদ্ধতি দ্বারা জিঙ্ক ধাতু নিষ্কাশনের বিভিন্ন তথ্য ঃ**

(1) পদ্ধতিতে ব্যবহৃত বিভিন্ন কাঁচামালগুলির নাম—**(i) জিঙ্ক ব্লেন্ড আকরিক** (ZnS), **(ii) কোক, (iii) পাইন তেল এবং সোডিয়াম জ্যানথেট, (iv) লঘু H_2SO_4।**

(2) প্রত্যেকটি কাঁচামালের ভূমিকা ঃ (i) গাঢ়ীকৃত আকরিককে নিয়ন্ত্রিত বায়ুপ্রবাহের উপস্থিতিতে গলনাঙ্কের কম উষ্ণতায় (900ºC) উত্তপ্ত করে তাপজারণ দ্বারা অক্সাইডে পরিণত করা হয়। পরে উচ্চ উষ্ণতায় উৎপন্ন অক্সাইডের কার্বন বিজারণ দ্বারা ধাতু উৎপন্ন করা হয়।

(ii) কোক, তাপ জারিত আকরিক ZnO-কে বিজারিত করে ধাতু উৎপন্ন করার কাজে ব্যবহৃত হয় এবং বিক্রিয়ায় উৎপন্ন CO_2-কে বিজারিত করে CO-তে পরিণত করার কাজেও লাগে।

(iii) সোডিয়াম জ্যানথেট এবং পাইন তেল, তৈলভাসন প্রণালী দ্বারা জিঙ্কের আকরিকের গাঢ়ীকরণ করার কাজে লাগে।

(iv) লঘু H_2SO_4 এবং $ZnSO_4$ দ্রবণ অশুদ্ধ জিঙ্কের তড়িৎ বিশোধন প্রক্রিয়াতে ব্যবহৃত হয়।

(3) ব্যবহৃত বায়ুর ভূমিকা ঃ তাপ জারণের সময় গাঢ়ীকৃত আকরিককে 850ºC—900ºC উষ্ণতায় নিয়ন্ত্রিত বায়ুপ্রবাহ দ্বারা উত্তপ্ত করে সালফাইড আকরিককে (ZnS) অক্সাইডে পরিণত করা হয়। বায়ুর মধ্যস্থ O_2, ZnS-কে জারিত করে ZnO-তে পরিণত করে।

(4) জিঙ্ক ধাতু নিষ্কাশনকারী বিক্রিয়াবলী ঃ তাপজারণে সালফাইড আকরিক বায়ুর O_2 দ্বারা 900ºC উষ্ণতায় জারিত হয়ে অক্সাইডে পরিণত হয়। $2ZnS + 3O_2 = 2ZnO + 2SO_2\uparrow$

পরে কার্বন বিজারণ প্রক্রিয়ায়, উৎপন্ন ZnO-এর সঙ্গে অতিরিক্ত পরিমাণ কোক যোগ করে 1400ºC উষ্ণতায় উত্তপ্ত করা হলে, ZnO কোক দ্বারা বিজারিত হয়ে ধাতু উৎপন্ন করে যা পতিত হয়। $ZnO + C = Zn + CO\uparrow$

(5) নিষ্কাশিত জিঙ্কের সংগ্রহ ঃ কার্বন বিজারণে উৎপন্ন ধাতব জিঙ্ক (b.p. 920ºC) বাষ্পীভূত হয়ে রেটর্ট থেকে বেরিয়ে শীতল ও ঘনীভূত হয়ে মাটির শীতকে তরলরূপে এবং প্রোলং-এ গুঁড়ার আকারে জমা হয়।

(6) উপজাত দ্রব্যের নাম ও ব্যবহার ঃ (i) সালফার ডাইঅক্সাইডকে উপজাত দ্রব্যরূপে পাওয়া যায়—স্পর্শ পদ্ধতি দ্বারা H_2SO_4-এর শিল্প উৎপাদনে ব্যবহৃত হয়। **(ii)** জিঙ্কের আংশিক পাতন প্রক্রিয়ায় তাপ বিশোধনের সময় **ক্যাডমিয়াম ধাতু** উপজাত দ্রব্যরূপে পাওয়া যায়।

2.24. জিঙ্কের ধর্ম [Properties of Zinc]

(A) ভৌত ধর্ম ঃ নীল আভাবিশিষ্ট সাদা ধাতু। জিঙ্কের আপেক্ষিক গুরুত্ব 7·14, গলনাঙ্ক 419ºC, স্ফুটনাঙ্ক 920ºC; জিঙ্ক (100ºC—150ºC) উষ্ণতায় নরম ও নমনীয় হয়ে যায়, 250ºC উষ্ণতায় ভঙ্গুর হয়। জিঙ্ক তাপ ও তড়িতের পরিবাহী।

(B) রাসায়নিক ধর্ম ঃ

(1) বায়ু ও অক্সিজেনের সঙ্গে ক্রিয়া ঃ শুষ্ক বায়ুতে জিঙ্কের উপর কোনো ক্রিয়া নেই, **আর্দ্র বায়ুতে জিঙ্কের উপর ক্ষারকীয় কার্বনেটের** [$ZnCO_3, 3Zn(OH)_2$] **একটি সাদা আস্তরণ পড়ে।** বায়ু বা O_2-এর মধ্যে তীব্র উত্তপ্ত করলে সবুজ আভাযুক্ত সাদা শিখায় জ্বলে জিঙ্ক অক্সাইডের সাদা ধোঁয়া উৎপন্ন করে, যাকে শীতল করলে ঘনীভূত হয়ে উলের আকারে জমা হয়। একে **'দার্শনিকের উল'** (Philosopher's wool) বলে। $2Zn + O_2 = 2ZnO$

(2) জলের সঙ্গে ক্রিয়া ঃ বিশুদ্ধ জিঙ্কের সঙ্গে কোনো অবস্থাতেই জলের বিক্রিয়া হয় না। অশুদ্ধ লোহিত তপ্ত জিঙ্কের উপর দিয়ে স্টিম চালনা করলে জিঙ্ক অক্সাইড ও হাইড্রোজেন উৎপন্ন হয়।

$$Zn + H_2O = ZnO + H_2$$

(3) অ্যাসিডের সঙ্গে ক্রিয়া ঃ (i) লঘু HCl বা H_2SO_4-এর সঙ্গে অবিশুদ্ধ Zn-এর বিক্রিয়ায় যথাক্রমে জিঙ্ক ক্লোরাইড, জিঙ্ক সালফেট উৎপন্ন হয় এবং উভয় ক্ষেত্রে হাইড্রোজেন নির্গত হয়।

$$Zn + 2HCl = ZnCl_2 + H_2\uparrow \quad ; \quad Zn + H_2SO_4 = ZnSO_4 + H_2\uparrow$$

(ii) উষ্ণ এবং গাঢ় H_2SO_4-এর সঙ্গে Zn-এর বিক্রিয়ায় **জিঙ্ক সালফেট** এবং **সালফার ডাইঅক্সাইড** উৎপন্ন হয়।

$$Zn + 2H_2SO_4 = ZnSO_4 + SO_2 + 2H_2O$$

(iii) নাইট্রিক অ্যাসিডের সঙ্গে জিঙ্কের বিক্রিয়া, নাইট্রিক অ্যাসিডের গাঢ়ত্ব এবং উষ্ণতার উপর নির্ভর করে। (নাইট্রিক অ্যাসিড অধ্যায় দ্রষ্টব্য)।

(4) ক্ষারের সঙ্গে ক্রিয়া ঃ কস্টিক সোডা বা **কস্টিক পটাশের** মতো তীব্র ক্ষারের গাঢ় এবং উষ্ণ দ্রবণের সঙ্গে জিঙ্কের বিক্রিয়ায় **জিঙ্কেট লবণ** এবং হাইড্রোজেন গ্যাস উৎপন্ন হয়।

$$2NaOH + Zn = Na_2ZnO_2 + H_2 \quad ; \quad 2KOH + Zn = K_2ZnO_2 + H_2$$

(5) (a) তীব্র ক্ষার মিশ্রিত নাইট্রেট লবণের সঙ্গে ক্রিয়া ঃ তীব্র ক্ষার যেমন NaOH বা KOH-এর সঙ্গে Zn-এর বিক্রিয়ায় H_2 উৎপন্ন হয়। তাই নাইট্রেট লবণের সঙ্গে জিঙ্ক চূর্ণ ও কস্টিক সোডা বা KOH মিশিয়ে উত্তপ্ত করলে নাইট্রেট লবণ, উৎপন্ন জায়মান হাইড্রোজেন দ্বারা বিজারিত হয়ে অ্যামোনিয়াতে পরিণত হয়। তীব্র গন্ধ দ্বারা একে শনাক্ত করা যায়। এই বিক্রিয়াটি নাইট্রেট মূলকের শনাক্তকরণে ব্যবহৃত হয়।

$$NaNO_3 + 4Zn + 7NaOH = 4Na_2ZnO_2 + NH_3 + 2H_2O$$

(b) নাইট্রাইট লবণকে জিঙ্ক চূর্ণ এবং কস্টিক সোডা দ্রবণ সহ উত্তপ্ত করলে নাইট্রাইট লবণ বিজারিত হয়।

$$NaNO_2 + 3Zn + 5NaOH = 3Na_2ZnO_2 + NH_3 + H_2O$$

(6) ক্লোরিনের সঙ্গে ক্রিয়া ঃ ক্লোরিনের সঙ্গে Zn সরাসরি যুক্ত হয়ে জিঙ্ক ক্লোরাইড উৎপন্ন করে।

$$Zn + Cl_2 = ZnCl_2$$

নাইট্রোজেনের সঙ্গে জিঙ্ক সরাসরি যুক্ত হতে পারে না তবে অ্যামোনিয়া গ্যাসকে উত্তপ্ত জিঙ্কের উপর দিয়ে চালনা করলে **জিঙ্ক নাইট্রাইড** উৎপন্ন হয়।

$$3Zn + 2NH_3 = Zn_3N_2 + 3H_2\uparrow$$

(7) প্রতিস্থাপন বিক্রিয়া ঃ কপার, লেড, গোল্ড, সিলভার প্রভৃতি ধাতুগুলির লবণের জলীয় দ্রবণে জিঙ্ক চূর্ণ যোগ করলে ওই ধাতুগুলির চেয়ে বেশি ইলেকট্রোপজিটিভ ধাতু জিঙ্ক, দ্রবণ থেকে ধাতুগুলিকে প্রতিস্থাপন করে।

$$CuSO_4 + Zn = ZnSO_4 + Cu\downarrow \quad ; \quad 2AgNO_3 + Zn = Zn(NO_3)_2 + 2Ag\downarrow$$

(8) বিজারণ ধর্ম ঃ লঘু H_2SO_4 যুক্ত ফেরিক সালফেট দ্রবণে জিঙ্ক চূর্ণ যোগ করলে, **ফেরিক সালফেট** বিজারিত হয়ে **ফেরাস সালফেটে** পরিণত হয়। এই বিক্রিয়াটি অ্যাসিড মাধ্যমে জিঙ্কের বিজারণ ধর্মের উদাহরণ।

$$Fe_2(SO_4)_3 + Zn = 2FeSO_4 + ZnSO_4$$

2.25. জিঙ্কের ব্যবহার [Uses of Zinc]

(1) বিভিন্ন বৈদ্যুতিক সেল এবং শুষ্ক ব্যাটারি প্রস্তুতিতে জিঙ্কের প্রয়োজন হয়। **(2)** পরীক্ষাগারে কিছু কিছু যন্ত্রপাতি, গ্যাস আধার, গ্যাসদ্রোণী ইত্যাদি প্রস্তুতে জিঙ্ক ব্যবহৃত হয়। **(3)** জিঙ্ক হোয়াইট নামে সাদা রং প্রস্তুতিতে, পরীক্ষাগারে হাইড্রোজেন প্রস্তুতিতে এবং অনেক ক্ষেত্রে বিজারকরূপে জিঙ্কের ছিবড়া ব্যবহৃত হয়। **(4)** লেড থেকে সিলভার পৃথকীকরণে এবং সিক্ত পদ্ধতিতে গোল্ড ও সিলভার নিষ্কাশনে জিঙ্ক ব্যবহৃত হয়। **(5)** বিশেষ গুণ সম্পন্ন কতকগুলি সংকর ধাতু প্রস্তুতে জিঙ্কের প্রয়োজন হয় যেমন—

(i) পিতল—(70% Cu + 30% Zn) ; বাসন, জলের কল, টেলিস্কোপ এবং যন্ত্রপাতি প্রস্তুতে ব্যবহৃত হয়।

(ii) ডেলটা মেটাল—(55% Cu + 41% Zn + 4% Fe); বিয়ারিং, ভাল্‌ব, জাহাজের প্রপেলার তৈরি করতে ব্যবহৃত হয়।

(iii) জার্মান সিলভার—(50% Cu + 30% Zn + 20% Ni); বাসন, ফুলদানি, শৌখিন দ্রব্য প্রস্তুতে।

লোহার দ্রব্যকে মরচে পড়ার হাত থেকে রক্ষা করার জন্য ওই দ্রব্যগুলির উপর জিঙ্কের প্রলেপ দেওয়া হয়। এই প্রক্রিয়াকে **দস্তালেপন** বা **গ্যালভানাইজেশন** বলে।

অনুশীলনী

1. (a) জিঙ্ক ধাতুর কয়েকটি আকরিকের নাম সংকেত সহ লেখো। **(b)** জিঙ্কের আকরিক থেকে জিঙ্ক ধাতুর নিষ্কাশন পদ্ধতি সমীকরণ সহ বর্ণনা করো।

2. তড়িদ্‌বিশ্লেষণ পদ্ধতিতে জিঙ্ক ব্লেন্ড থেকে জিঙ্কের নিষ্কাশন সংক্ষেপে বর্ণনা করো।

3. নীচের বিক্রিয়াগুলিতে কী ঘটে সমীকরণ সহ লেখো।

(i) ধাতব জিঙ্ককে বাতাসে তীব্রভাবে উত্তপ্ত করা হল। **(ii)** জলের সঙ্গে জিঙ্কের বিক্রিয়া ঘটানো হল। **(iii)** সোডিয়াম হাইড্রক্সাইড দ্রবণে জিঙ্ক চূর্ণ যোগ করে উত্তপ্ত করা হল। **(iv)** $CuSO_4$ দ্রবণে Zn চূর্ণ যোগ করা হল। **(v)** সিলভার নাইট্রেট দ্রবণে Zn চূর্ণ যোগ করা হল। **(vi)** উত্তপ্ত Zn-এর ওপর দিয়ে NH_3 চালনা করা হল।

4. জিঙ্ক লেপন কাকে বলে? এর উপযোগিতা কী?

5. জিঙ্ক আকরিক থেকে কীভাবে ধাতব জিঙ্ক নিষ্কাশন করা হয় সমীকরণ সহ বর্ণনা করো। এই নিষ্কাশনে তাপজারণের সময় উষ্ণতা এবং বায়ুপ্রবাহ নিয়ন্ত্রিত করা হয় কেন?

6. কারণ ব্যাখ্যা করো ঃ

(i) Fe-এর চেয়ে Zn আরও শক্তিশালী বিজারক। **(ii)** লেড নাইট্রেট দ্রবণে Zn চূর্ণ যোগ করলে ধাতব লেড অধঃক্ষিপ্ত হয়। **(iii)** ZnO একটি উভয়ধর্মী অক্সাইড। **(iv)** জিঙ্ক প্রলিপ্ত লোহার দ্রব্যে সহজে মরিচা পড়ে না। **(v)** ZnO-এর কার্বন বিজারণের সময় প্রোলং-এর মুখে প্রজ্জ্বলিত শিখার বর্ণ দেখে বিজারণের সমাপ্তি বোঝা যায়। **(vi)** জিঙ্ক অক্সাইডের কার্বন বিজারণ হয়, তাহলে জিঙ্ক ধাতুকে আয়রনের মতো ব্লাস্ট ফার্নেসে নিষ্কাশন করা যায় না কেন? **(vii)** গ্যালভানাইজ আয়রন পাত টিন প্রলিপ্ত আয়রন পাতের চেয়ে বেশি টেকসই। **(viii)** ZnO-এর কার্বন বিজারণের সময় অতিরিক্ত কোক যোগ করা হয় কেন? **(ix)** Zn-এর স্ফুটনাঙ্ক 920°C হলেও কার্বন বিজারণের সময় উষ্ণতা 1400°C রাখা হয় কেন?

7. একটি ধাতু *M* উভয়ধর্মী অক্সাইড উৎপন্ন করে। লোহিততপ্ত ধাতুর ওপর স্টিম চালনা করলে ধাতব অক্সাইড ও H_2 নির্গত হয়। ধাতুটি $CuSO_4$ দ্রবণ থেকে Cu-কে প্রতিস্থাপিত করে এবং লঘু H_2SO_4-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় H_2-কে প্রতিস্থাপিত করে। ধাতুটি কী হতে পারে? ধাতুটির প্রধান আকরিকের নাম লেখো এবং নিষ্কাশন প্রণালী বর্ণনা করো।

8. CuO এবং ZnO কার্বন দ্বারা বিজারিত হয়। CaO কার্বন দ্বারা বিজারিত হয় না। CuO-এর সঙ্গে Zn মিশিয়ে উত্তপ্ত করলে ধাতব কপার পাওয়া যায়। ঘটনাগুলির ওপর ভিত্তি করে Cu, Ca এবং Zn-কে রাসায়নিক সক্রিয়তার ক্রম অনুসারে সাজাও।

9. সমীকরণ সহ কী ঘটে বর্ণনা করো—

(i) ধাতব Zn চূর্ণের সঙ্গে NaOH লবণ যোগ করে উত্তপ্ত করা হল। **(ii)** $Zn(NO_3)_2$-কে তীব্রভাবে উত্তপ্ত করা হল। **(iii)** $NaNO_3$ এবং জিঙ্ক চূর্ণের সঙ্গে NaOH দ্রবণ যোগ করে উত্তপ্ত করা হল। **(iv)** জিঙ্ক সালফেট দ্রবণে ধীরে ধীরে অতিরিক্ত NaOH যোগ করা হল, তারপর উৎপন্ন দ্রবণে H_2S চালনা করা হল। **(v)** উত্তপ্ত Zn-এর ওপর দিয়ে NH_3 চালনা করা হল। **(vi)** উত্তপ্ত Zn-এর ওপর দিয়ে শুষ্ক HCl গ্যাস চালনা করা হল। **(vii)** $NaNO_2$ এবং Zn চূর্ণের মিশ্রণে গাঢ় NaOH দ্রবণ যোগ করে উত্তপ্ত করা হল। **(viii)** জিঙ্ক সালফেট দ্রবণে পৃথকভাবে সোডিয়াম কার্বনেট এবং সোডিয়াম বাইকার্বনেট দ্রবণ মেশানো হল। **(ix)** অ্যাসিড মিশ্রিত ফেরিক ক্লোরাইড দ্রবণে জিঙ্ক চূর্ণ যোগ করা হল। **(x)** জিঙ্ক সালফেটের জলীয় দ্রবণে বেরিয়াম সালফাইড যোগ করা হল।

10. জিঙ্ক সালফেট দ্রবণের তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করে ধাতব জিঙ্ক নিষ্কাশন করা যায়। ব্যাখ্যা করো।

11. সালফাইড আকরিক থেকে জিঙ্ক ধাতু নিষ্কাশনে নীচের তথ্যগুলি পরিবেশন করো—

(i) ফর্মুলা সহ ব্যবহৃত আকরিকের নাম বলো। **(ii)** কী প্রণালীতে আকরিকের গাঢ়ীকরণ করা হয়? গাঢ়ীকরণ প্রণালীতে কী কী পদার্থ ব্যবহৃত হয়? **(iii)** গাঢ়ীকৃত আকরিকের তাপজারণের সময় উষ্ণতা 900°C-এর নীচে নামতে দেওয়া হয় না এবং বায়ুপ্রবাহ নিয়ন্ত্রিত করা হয় কেন? তাপজারণে কী পদার্থ পাওয়া যায়? **(iv)** কার্বন বিজারণে অতিরিক্ত কোক যোগ করা হয় কেন? **(v)** কোন গ্যাস দ্বারা উত্তপ্ত করে বিজারণ ক্রিয়া ঘটানো হয়? **(vi)** জিঙ্ক ধাতু কীভাবে সংগ্রহ করা হয় এবং বিশুদ্ধ করা হয়? **(vii)** উপজাত দ্রব্য রূপে কী কী পাওয়া যায়?

12. দার্শনিকের উল, হোয়াইট ভিট্রিয়ল কী?

13. নীচের প্রশ্নগুলির উত্তর দাও ঃ

(i) ক্যালামাইন আকরিককে ভস্মীকরণ করা হয়, কিন্তু জিঙ্ক ব্লেন্ডের তাপজারণ করা হয় কেন? **(ii)** জিঙ্ক ব্লেন্ডের তাপজারণের সময় $ZnSO_4$ উৎপন্ন হলে কী অসুবিধা হতো? **(iii)** ZnS-এর তাপজারণের সময় কী অবস্থায় $ZnSO_4$ উৎপন্ন হয়—কীভাবে এই উৎপাদন বন্ধ করা যায়? **(iv)** জিঙ্ক ব্লেন্ডকে **(a)** কার্বন বিজারণের জন্য **(b)** তড়িৎ-বিজারণের জন্য কোন কোন যৌগে রূপান্তরিত করা হয়? **(v)** তড়িৎ বিজারণ পদ্ধতি দ্বারা জিঙ্কের নিষ্কাশনের সময় গৃহীত জিঙ্ক সালফেট দ্রবণটি খুব বিশুদ্ধ হওয়া প্রয়োজন কেন? **(v)** দস্তা চূর্ণ, $NaNO_3$ এবং NaOH-এর দ্রবণকে উত্তপ্ত করলে কী ঘটে? **(vi)** কার্বন বিজারণ পদ্ধতিতে জিঙ্ক নিষ্কাশনে কোনো বিগালক লাগে না কেন? **(vii)** দার্শনিকের উল কী?

● আয়রন ●

চিহ্ন : Fe, আণবিক ভর : 55·85, পারমাণবিক সংখ্যা : 26, ইলেকট্রন বিন্যাস : $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^6\ 4s^2$

2.26. প্রকৃতিতে আয়রনের অবস্থান [Occurrence of Iron in nature]

প্রকৃতির মধ্যে আয়রনের খনিজ ভান্ডার প্রচুর পরিমাণে বর্তমান। আয়রন অবশ্য মুক্ত অবস্থায় প্রকৃতির মধ্যে পাওয়া যায় না। শুধু উল্কাপিণ্ডের মধ্যে আয়রনকে মুক্ত অবস্থায় পাওয়া যায়। আয়রনের আকরিকগুলির মধ্যে নীচেরগুলি উল্লেখযোগ্য :

অক্সাইডরূপে : (1) ম্যাগনেটাইট [Magnetite (Fe_3O_4)] **(2) রেড হেমাটাইট** [Red Haematite (Fe_2O_3)] **(3) ব্রাউন হেমাটাইট** [Brown Haematite (Fe_2O_3, $3H_2O$)]

কার্বনেটরূপে : (4) স্প্যাথিক আয়রন আকরিক, স্প্যাথোজ বা সিডারাইট [Spathic iron ore, sederite ($FeCO_3$)]

সালফাইডরূপে : আয়রন পাইরাইটিস [Iron pyrites (FeS_2)]

পৃথিবীর প্রথম শ্রেণির হেমাটাইট আকরিক ভারতে পাওয়া যায়। বিহার, ওড়িশা, অন্ধ্রপ্রদেশ, কর্ণাটকের মহীশূরে লোহা পাওয়া যায়।

লোহার ধর্ম, লোহার মধ্যে মিশ্রিত কার্বনের ওপর নির্ভর করে, কার্বনের পরিমাণ অনুযায়ী লোহা মোটামুটি তিন রকম—

(1) কাস্ট আয়রন বা পিগ আয়রন (Cast Iron) : এই জাতীয় লোহার মধ্যে কার্বনের পরিমাণ 2%—4·5%, এছাড়া এর মধ্যে সামান্য পরিমাণ S, Si, Mn এবং P থাকে। **(2) স্টিল** (Steel) : স্টিলের মধ্যে কার্বনের পরিমাণ 0·15%—1·5%। **(3) রট আয়রন বা পেটা লোহা** (Wrought iron) : এই জাতীয় লোহার মধ্যে কার্বনের পরিমাণ 0·1%—0·15%।

প্রকৃতির মধ্যে আয়রন পাইরাইটিস (FeS_2) বেশি পরিমাণে পাওয়া যায়। কিন্তু তা হলেও এই খনিজ থেকে আয়রন নিষ্কাশন করা হয় না। এর কারণ হল, এই খনিজটির মধ্যে সালফারের পরিমাণ এত বেশি থাকে যে এর থেকে উৎপন্ন লোহার মধ্যে সালফার বেশ কিছু পরিমাণে থেকে যায়, যার জন্য উৎপন্ন লোহা ভঙ্গুর হয়ে যায়।

2.27. কাস্ট আয়রন [Cast iron or pig iron]

● **কাস্ট আয়রন নিষ্কাশন** (Extraction of Cast iron) :

আয়রনের অক্সাইড আকরিক (ম্যাগনেটাইট, রেড হেমাটাইট এবং ব্রাউন হেমাটাইট) এবং কার্বনেট আকরিক (স্প্যাথিক আয়রন আকরিক) থেকে নীচের দুটি প্রক্রিয়া পরপর প্রয়োগ করে কাস্ট আয়রন নিষ্কাশন করা হয়।

(A) তাপজারণ বা ভস্মীকরণ (Roasting) : আয়রন-আকরিকের তাপজারণ প্রক্রিয়ায় আগে, স্তূপীকৃত আকরিকের ওপর তীব্রবেগে জলের ধারা ফেলে আকরিক থেকে মাটি, বালি, কাদা ইত্যাদি যতদূর সম্ভব দূর করা হয়। এইবার এই পরিষ্কার করা **ম্যাগনেটাইট** (Fe_3O_4), **হেমাটাইট** (Fe_2O_3) এবং **স্প্যাথিক আয়রন আকরিকের** ($FeCO_3$) তাপজারণ করা হয়। আয়রনের আকরিকের সঙ্গে কোক কয়লা মিশিয়ে স্তূপীকৃত করে বা ভাঁটির মধ্যে সাজিয়ে আগুন লাগানো হয়। **উষ্ণতা এবং বায়ুপ্রবাহ নিয়ন্ত্রিত করে ভস্মীকরণ করা হয়।**

এর ফলে **(i) আকরিকের মধ্যস্থ মুক্ত সালফার ও আর্সেনিক, উদ্‌বায়ী অক্সাইডে পরিণত হয়ে চলে যায়।**

$$S + O_2 = SO_2\uparrow \quad ; \quad 4As + 3O_2 = 2As_2O_3\uparrow$$

(ii) কার্বনেট আকরিক থেকে কার্বন ডাইঅক্সাইড দূর হয়ে অক্সাইডে পরিণত হয়। $FeCO_3 = FeO + CO_2\uparrow$

(iii) সোদক অক্সাইড ব্রাউন হেমাটাইট থেকে জলীয় বাষ্প বেরিয়ে যায়। $Fe_2O_3, 3H_2O = Fe_2O_3 + 3H_2O\uparrow$

(iv) ম্যাগনেটাইট আকরিক বিয়োজিত হয়ে FeO এবং Fe_2O_3-তে পরিণত হয়। $Fe_3O_4 = Fe_2O_3 + FeO$

(v) এইভাবে উৎপন্ন নিম্ন যোজ্যতার **ফেরাস অক্সাইড বায়ু দ্বারা জারিত হয়ে** উচ্চ যোজ্যতার **ফেরিক অক্সাইডে পরিণত হয়। এর ফলে তাপজারিত আকরিকের মধ্যে FeO-এর পরিমাণ অনেক কমে যায়,** ফলে বিগলনের সময় অবিকৃত FeO-এর সাথে আকরিকের মধ্যস্থ SiO_2-**এর সঙ্গে যুক্ত হয়ে ফেরাস সিলিকেটে** ($FeSiO_3$) **পরিণত হওয়ার সম্ভাবনা অনেক কমে যায়। ফলে আয়রনের অপচয় বন্ধ হয়, কারণ Fe_2O_3-এর সাথে SiO_2-এর বিক্রিয়া হয় না।**

$$4FeO + O_2\,(\text{বায়ু}) = 2Fe_2O_3$$

(vi) ভস্মীকরণের ফলে **আকরিকগুলি সচ্ছিদ্র বা ঝাঁঝরাবিশিষ্ট হয়, ফলে আকরিকের কার্যকরী ক্ষেত্রফল অনেক বেড়ে যায়,** যার জন্য পরের প্রক্রিয়ায় কার্বন বিজারণে সুবিধা হয়।

(vii) গুঁড়ো আকরিকের সঙ্গে সামান্য চুন মিশিয়ে ভস্মীকরণ করা হয়, **এর ফলে আকরিকগুলি তাল-পাকানো অবস্থায় আসে।** তাপজারণের পর, তাপজারিত আকরিকের মধ্যে Fe_2O_3 এবং SiO_2 থাকে।

(B) ব্লাস্ট ফার্নেসে বিগলন—কার্বন বিজারণ ঃ তাপজারিত আকরিকের সঙ্গে কোক ও চুনাপাথর যথাক্রমে 8 ঃ 4 ঃ 1 ওজন অনুপাতে মেশানো হয়। এই মিশ্রণকে চার্জ (Charge) বলে। চার্জকে ব্লাস্ট ফার্নেসে উচ্চ উষ্ণতায় গলানো হয়। এর ফলে তাপজারিত আকরিকের আয়রন অক্সাইড কোক থেকে উৎপন্ন CO এবং কার্বনের সূক্ষ্ম কণা দ্বারা বিজারিত হয়ে ধাতব আয়রন উৎপন্ন করে ও আকরিকের অশুদ্ধিগুলি চুনাপাথরের সঙ্গে যুক্ত হয়ে ধাতুমলে পরিণত হয়ে আয়রন থেকে পৃথক হয়।

● **ব্লাস্ট ফার্নেসের বর্ণনা ঃ (i)** কাস্ট আয়রন নিষ্কাশনে যে ব্লাস্ট ফার্নেস ব্যবহার করা হয় তার উচ্চতা সাধারণত (25 —36) মিটার হয়। **(ii)** চুল্লির বাইরের গা স্টিলের পাত দিয়ে তৈরি আর ভেতরের দেয়াল ফায়ার ব্রিকস দিয়ে তৈরি। চুল্লির উপরের অংশের ব্যাস অপেক্ষাকৃত কম—নীচের দিকে ক্রমশ চওড়া হতে থাকে। নীচে সবচেয়ে চওড়া অংশটিকে **বস্** (Bosh) বলে। ওই অংশের ব্যাস 7·3 মি। এর পর চুল্লির নীচের দিক ক্রমশ সরু হয়ে **হার্থে** পরিণত হয়। হার্থে দুটি নির্গম নল থাকে—ওপরের নির্গম নল দিয়ে গলিত ধাতুমল বের করা হয় এবং নীচের নির্গম নল দিয়ে গলিত কাস্ট আয়রন বের করা হয়। **(iii)** চুল্লির ওপরে কাপ ও কোণ ব্যবস্থার সাহায্যে চার্জকে (charge) চুল্লির মধ্যে ফেলা হয়। **(iv)** চুল্লির মধ্যে যে উত্তপ্ত গ্যাস উৎপন্ন হয়, ওপরের অংশে একটি নল দিয়ে চুল্লি থেকে সেই গ্যাস বেরিয়ে যায়। চুল্লির বক্ষের (hearth) ঠিক ওপরে কতকগুলি লোহার মোটা নল চুল্লির মধ্যে প্রবেশ করানো থাকে, এগুলিকে **টায়ার** (tuyers) বলে। এই নলগুলির সাহায্যে 700°C—800°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত ও শুষ্ক বায়ুকে প্রচণ্ড চাপে চুল্লির মধ্যে প্রবেশ করানো হয়।



চিত্র 2.24 ঃ ব্লাস্ট ফার্নেস

পদ্ধতি ঃ চুল্লির মধ্যে প্রথমে কোক জ্বালিয়ে চুল্লিটি উত্তপ্ত করে, চুল্লির ওপরে থাকা কাপ এবং কোণ ব্যবস্থার মাধ্যমে তাপজারিত আকরিক, কোক ও চুনাপাথরকে 8 ঃ 4 ঃ 1 অনুপাতে মিশিয়ে সেই মিশ্রণ অর্থাৎ চার্জকে ছোটো ছোটো গাড়ির সাহায্যে চুল্লির মধ্যে ফেলা হয়, যেন চার্জ দ্বারা চুল্লির $\frac{4}{5}$ অংশ ভর্তি থাকে। চার্জ চুল্লির মধ্যে ঢালার সঙ্গে সঙ্গে টায়ারের সাহায্যে 700°C—800°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত বায়ুর তীব্র প্রবাহ চুল্লির ভেতরে চালনা করা হয়।

● **চুল্লির মধ্যে বিক্রিয়া ঃ**

(1) কার্বন মনোক্সাইড উৎপাদন ঃ উত্তপ্ত বায়ুপ্রবাহে কোক প্রজ্বলিত হয়ে **কার্বন মনোক্সাইড** উৎপন্ন করে। কোক এখানে জ্বালানি এবং বিজারকরূপে কাজ করে। এই কার্বন মনোক্সাইড ওপরের দিকে উঠতে থাকে।

$$2C + O_2 = 2CO\uparrow$$

চুল্লির ভিতরের উষ্ণতা সব অংশে সমান নয়, **(i) ওপরের অংশের উষ্ণতা** 600°C—900°C, **(ii) বসের কাছে উষ্ণতা** 1000°C—1300°C এবং **(iii) চুল্লিবক্ষের উষ্ণতা** 1500°C।

(2) CO দ্বারা Fe_2O_3-এর বিজারণ এবং স্পঞ্জের মতো আয়রন প্রস্তুতি ঃ বসের ওপরে, 600°C—900°C **উষ্ণতায়** লোহিততপ্ত অবস্থায় **আকরিকের ফেরিক অক্সাইড, কার্বন মনোক্সাইড দ্বারা আংশিক বিজারিত হয়ে স্পঞ্জের মতো আয়রন উৎপন্ন করে।** $Fe_2O_3 + 3CO \rightleftharpoons 2Fe + 3CO_2\uparrow$

এই বিক্রিয়াটি উভমুখী, সেইজন্য আকরিকের সমস্ত Fe_2O_3 এই অবস্থায় আয়রনে পরিণত হয় না।

(3) চুনাপাথরের বিয়োজনে চুন প্রস্তুতি ঃ 900°C উষ্ণতায় **চুনাপাথর বিয়োজিত হয়ে চুন ও কার্বন ডাইঅক্সাইড উৎপন্ন করে।** উৎপন্ন CO_2-এর কিছু অংশ কোক দ্বারা **বিজারিত হয়ে কার্বন মনোক্সাইড উৎপন্ন করে।**

$$CaCO_3 = CaO + CO_2\uparrow \quad ; \quad CO_2 + C = 2CO\uparrow$$

(4) Fe_2O_3-এর পূর্ণ বিজারণ এবং ধাতুমল উৎপাদন ঃ বসের কাছে 1000°C—1300°C উষ্ণতায়—

(i) কার্বন মনোক্সাইড বিয়োজিত হয়ে কার্বনের সূক্ষ্ম গুঁড়ো উৎপন্ন করে। $2CO = CO_2 + C$

(ii) এই সূক্ষ্ম কার্বনের গুঁড়ো চার্জের বাকি ফেরিক অক্সাইডকে বিজারিত করে আয়রন উৎপন্ন করে। এই অবস্থায় ফেরিক অক্সাইডের বিজারণ সম্পূর্ণ হয়। $Fe_2O_3 + 3C = 2Fe + 3CO\uparrow$

(iii) উৎপন্ন চুন (CaO) উচ্চ উষ্ণতায় আকরিকের মধ্যস্থ বালি এবং সিলিকা-জাতীয় পদার্থের সঙ্গে যুক্ত হয়ে ক্যালশিয়াম সিলিকেট (ধাতুমল) উৎপন্ন করে। $CaO + SiO_2 = CaSiO_3$ (ধাতুমল)

চুল্লির উচ্চ উষ্ণতায় উৎপন্ন আয়রন ও ধাতুমল গলে যায় ও চুল্লিবক্ষে জমা হতে থাকে।

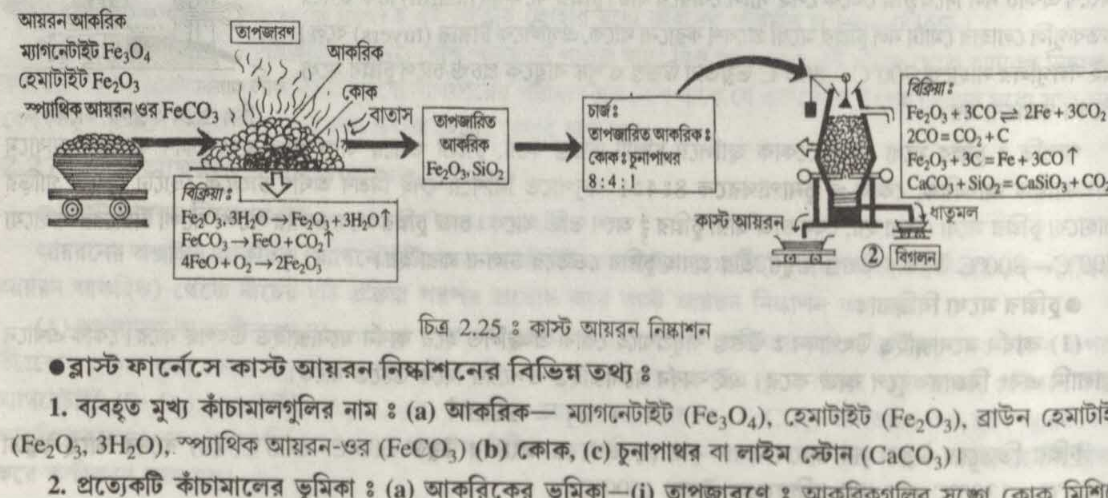
(5) আকরিকের মধ্যে উপস্থিত বেশি সুস্থিত অক্সাইডগুলির বিজারণ ঃ চুল্লিবক্ষের (hearth) কাছে 1500°C উষ্ণতায়—**(i)** আকরিকের মধ্যে উপস্থিত **সামান্য ম্যাঙ্গানিজ ডাইঅক্সাইড** (পাইরোলুসাইট) কার্বন দ্বারা বিজারিত হয়ে ধাতব ম্যাঙ্গানিজ উৎপন্ন করে। **(ii) সিলিকা** কার্বন দ্বারা বিজারিত হয়ে **সিলিকন** উৎপন্ন করে। **(iii)** চুনাপাথরের মধ্যে **ক্যালশিয়াম ফসফেট** অশুদ্ধিরূপে থাকলে, **সিলিকার উপস্থিতিতে, কার্বন দ্বারা বিজারিত হয়ে ফসফরাস** উৎপন্ন করে।

এইভাবে উৎপন্ন Mn, Si, P গলিত আয়রনের সঙ্গে মিশে যায়।

(6) কাস্ট আয়রন সংগ্রহ ঃ উৎপন্ন আয়রন ও ধাতুমল গলিত অবস্থায় চুল্লির নীচে দুটি স্তরে জমা হয়। নীচে গলিত **কাস্ট আয়রন** থাকে, এর ওপরে হালকা ধাতুমল ভাসতে থাকে। পৃথক নির্গম-নল দিয়ে কাস্ট আয়রন ও ধাতুমল বের করে নেওয়া হয়। গলিত কাস্ট আয়রনকে বালির ছাঁচে ঢেলে দণ্ডের আকার দেওয়া হয় কিংবা সরাসরি স্টিল প্রস্তুতে পাঠানো হয়।

কাস্ট আয়রনের মধ্যে অশুদ্ধি হিসাবে মোটামুটি—(2—4·5)% কার্বন (আংশিক গ্রাফাইট রূপে এবং আংশিক Fe_3C রূপে বর্তমান থাকে), (0·1—0·2)% **Mn,** (0·5—3)% **সিলিকন,** (0·5—1)% **ফসফরাস** এবং (0·1—0·3)% **সালফার থাকে।**

● **আকরিক থেকে কাস্ট আয়রন নিষ্কাশনের বিভিন্ন ধাপের বিক্রিয়া ঃ**



চিত্র 2.25 ঃ কাস্ট আয়রন নিষ্কাশন

● **ব্লাস্ট ফার্নেসে কাস্ট আয়রন নিষ্কাশনের বিভিন্ন তথ্য ঃ**

1. ব্যবহৃত মুখ্য কাঁচামালগুলির নাম ঃ (a) আকরিক— ম্যাগনেটাইট (Fe_3O_4), হেমাটাইট (Fe_2O_3), ব্রাউন হেমাটাইট (Fe_2O_3, $3H_2O$), স্প্যাথিক আয়রন-ওর ($FeCO_3$) **(b) কোক, (c) চুনাপাথর বা লাইম স্টোন ($CaCO_3$)।**

2. প্রত্যেকটি কাঁচামালের ভূমিকা ঃ (a) আকরিকের ভূমিকা—(i) তাপজারণে ঃ আকরিকগুলির সঙ্গে কোক মিশিয়ে নিয়ন্ত্রিত বায়ুপ্রবাহে উত্তপ্ত করে তাপজারণ করলে, **ম্যাগনেটাইট** বিশ্লিষ্ট হয়ে FeO এবং Fe_2O_3-তে পরিণত হয়। **ব্রাউন হেমেটাইট** জলমুক্ত হয়ে Fe_2O_3-তে পরিণত হয়। **স্প্যাথিক আয়রন ওর** বিয়োজিত হয়ে FeO এবং CO_2 উৎপন্ন করে। এইভাবে উৎপন্ন **নিম্নযোজ্যতার অক্সাইড** FeO বায়ুর O_2 দ্বারা জারিত হয়ে Fe_2O_3-তে পরিণত হয়। তাপ জারণে আকরিক থেকে S, As, CO_2 এবং জল মুক্ত হয়। তাপজারিত আকরিকরূপে Fe_2O_3 এবং SiO_2-এর মিশ্রণ পাওয়া যায়।

(ii) বিগলনে ঃ Fe_2O_3, কোক এবং CO দ্বারা উচ্চ উষ্ণতায় বিজারিত হয়ে Fe-তে পরিণত হয়।

(b) কোকের ভূমিকা—(i) তাপজারণে **তাপ উৎপন্ন করতে** এবং **(ii)** বিগলনে CO এবং কার্বনের সূক্ষ্ম গুঁড়ো উৎপন্ন করে Fe_2O_3-কে সম্পূর্ণরূপে বিজারিত করে ধাতব Fe-তে পরিণত করতে ব্যবহৃত হয়।

(c) চুনাপাথরের ভূমিকা—বিগলনের সময় চুনাপাথর বিয়োজিত হয়ে CaO এবং CO_2 উৎপন্ন করে। উচ্চ উষ্ণতায় আকরিকের মধ্যস্থ SiO_2, উৎপন্ন CaO-এর সঙ্গে যুক্ত হয়ে $CaSiO_3$ **ধাতুমল** উৎপন্ন করে আয়রন থেকে পৃথক হয়।

$$CaCO_3 = CaO + CO_2\uparrow \; ; \; SiO_2 + CaO = CaSiO_3 \text{ (ধাতুমল)}$$

3. ব্যবহৃত বায়ুর ভূমিকা ঃ (a) তাপজারণের সময় বায়ুর O_2 আকরিকের মধ্যস্থ মুক্ত S, As ইত্যাদিকে অক্সাইডে জারিত

করে দূর করে। নিম্নযোজ্যতার অক্সাইড FeO-কে জারিত করে উচ্চ যোজ্যতার অক্সাইড Fe_2O_3-তে পরিণত করে। **(b)** বিগলনের সময় উত্তপ্ত বায়ুপ্রবাহ দ্বারা কোক তীব্রভাবে জ্বলে প্রথমে CO_2 উৎপন্ন করে। এই CO_2 উত্তপ্ত কোকের মধ্য দিয়ে যাওয়ার সময় বিজারিত হয়ে CO উৎপন্ন করে এবং উত্তাপ সৃষ্টি করে। $C + O_2 = CO_2$; $CO_2 + C = 2CO$

উৎপন্ন কার্বন মনোক্সাইড Fe_2O_3-কে বিজারিত করে ধাতব আয়রনে পরিণত করে।

4. আয়রন নিষ্কাশনকারী বিক্রিয়াসমূহ ঃ

(a) বসের ওপরে 600°C—900°C উষ্ণতায় আকরিকের Fe_2O_3, CO দ্বারা আংশিক বিজারিত হয়ে Fe-তে পরিণত হয়।

$$Fe_2O_3 + 3CO \rightleftharpoons 2Fe + 3CO_2\uparrow$$

900°C উষ্ণতায় চুনাপাথর বিয়োজিত হয়ে CaO-তে পরিণত হয়।

$$CaCO_3 = CaO + CO_2\uparrow \quad ; \quad CO_2 + C = 2CO\uparrow$$

(b) বসের কাছে 1000°C—1200°C উষ্ণতায় কার্বন মনোক্সাইড বিশ্লিষ্ট হয়ে কার্বনের সূক্ষ্ম গুঁড়ো উৎপন্ন করে।

$$2CO = CO_2 + C$$

কার্বনের এই সূক্ষ্ম গুঁড়ো অবশিষ্ট Fe_2O_3-কে বিজারিত করে Fe উৎপন্ন করে। $Fe_2O_3 + 3C = 2Fe + 3CO$

চুন, আকরিকের SiO_2-এর সঙ্গে যুক্ত হয়ে $CaSiO_3$ ধাতুমলে পরিণত হয়। $CaO + SiO_2 = CaSiO_3$

(c) চুল্লিবক্ষের কাছে 1500°C উষ্ণতায় আকরিকের মধ্যস্থ MnO_2 কার্বন দ্বারা বিজারিত হয়ে Mn-এ পরিণত হয়।

$$MnO_2 + 2C = Mn + 2CO$$

আকরিকের সিলিকা কোক দ্বারা বিজারিত হয়ে Si উৎপন্ন করে। $SiO_2 + 2C = Si + 2CO$

চুনাপাথরের মধ্যে $Ca_3(PO_4)_2$ অশুদ্ধি থাকলে সিলিকার উপস্থিতিতে কোক দ্বারা বিজারিত হয়ে ফসফরাসে পরিণত হয়। গলিত আয়রনের সঙ্গে Mn, Si, P, C ইত্যাদি মিশে গিয়ে কাস্ট আয়রন উৎপন্ন করে।

5. নিষ্কাশিত আয়রনের সংগ্রহ ঃ উৎপন্ন আয়রন এবং ধাতুমল গলিত অবস্থায় চুল্লির নীচে দুটি স্তরে জমা হয়। ওপরের নির্গম-নল দিয়ে ধাতুমল এবং নীচের নির্গম-নল দিয়ে কাস্ট আয়রন বের করে নেওয়া হয়।

6. উপজাত দ্রব্য এবং তাদের ব্যবহার ঃ (a) ধাতুমল ($CaSiO_3$) **ঃ** ব্লাস্ট ফার্নেস থেকে প্রাপ্ত ধাতুমল হল ক্যালশিয়াম সিলিকেট ($CaSiO_2$) এবং অ্যালুমিনিয়াম সিলিকেটের মিশ্রণ। এই ধাতুমলকে ঠান্ডা করে সূক্ষ্মভাবে চূর্ণ করে **সিমেন্ট প্রস্তুতির একটি উপাদান** হিসাবে ব্যবহৃত হয়। অনেক সময় গলিত পিচের **সঙ্গে এর সূক্ষ্ম চূর্ণ মিশিয়ে রাস্তা তৈরির** কাজে ব্যবহার করা হয়। কৃষিক্ষেত্রে সাররূপেও এই ধাতুমল ব্যবহার করা হয়।

(b) ব্লাস্ট ফার্নেস থেকে নির্গত গ্যাস মিশ্রণ ঃ চুল্লি থেকে নির্গত গ্যাস মিশ্রণে প্রচুর CO থাকে। এর সঙ্গে CO_2, H_2, N_2 এবং কিছু কিছু হাইড্রোকার্বন বর্তমান থাকে। এই উত্তপ্ত গ্যাস মিশ্রণকে ধূলিমুক্ত করে টায়ারের বায়ুপ্রবাহের সঙ্গে মিশিয়ে ব্লাস্ট ফার্নেসে ব্যবহার করা হয়, এর ফলে জ্বালানি খরচ কম হয়।

2.28. স্টিল উৎপাদন (কাস্ট আয়রন থেকে) [Steel Production (from cast iron)]

কাস্ট আয়রনের মধ্যে কার্বনের পরিমাণ 2%—4·5%। কাস্ট আয়রনে কার্বনের পরিমাণ কমিয়ে এবং অন্যান্য অশুদ্ধিগুলি দূর করে স্টিল উৎপন্ন করা হয়। স্টিলে 0·15%—1·5% কার্বন থাকে। আয়রনের মধ্যে উপস্থিত কার্বনের পরিমাণের ওপরই স্টিলের বিশেষ বিশেষ ধর্ম নির্ভর করে। সাধারণত **কার্বনের পরিমাণ কম হলে নরম স্টিল এবং কার্বনের পরিমাণ বেশি হলে হার্ড স্টিল উৎপন্ন হয়।** আয়রনের সঙ্গে কার্বন সাধারণত **আয়রন কার্বাইড** (Fe_3C) রূপে বর্তমান থাকে। কার্বন ছাড়াও বিশেষ ধর্মবিশিষ্ট সংকর স্টিল উৎপাদনের জন্য স্টিলের সঙ্গে Ni, Cr, V, Mn প্রভৃতি যোগ করা হয়।

বর্তমানে প্রধানত দুটি পদ্ধতিতে কাস্ট আয়রন থেকে স্টিল উৎপন্ন করা হয়; যথা—**(1) বিসিমার পদ্ধতি ও (2) ওপেন হার্থ পদ্ধতি।**

1. বিসিমার পদ্ধতি (Bessemer process) **ঃ** 1855 সালে **বিসিমার** এই পদ্ধতির প্রচলন করেন।

[A] নীতি ঃ এই পদ্ধতিতে—**(i)** গলিত কাস্ট আয়রনের ভেতর দিয়ে প্রচণ্ড চাপে উত্তপ্ত বায়ুপ্রবাহ চালনা করা হয়, এর ফলে কাস্ট আয়রনের অশুদ্ধিগুলি (C, S, Si, Mn, P) জারিত হয়ে কোনোটি গ্যাসের আকারে, আবার কোনোটি ধাতুমলরূপে অপসারিত হয়, ফলে কাস্ট আয়রন **রট আয়রনে** পরিণত হয়। **(ii) কার্বনীকরণ** (Recarburisation)—উৎপন্ন রট আয়রনের সঙ্গে

পরিমাণমতো **স্পাইজেল** (Spiegeleisen—কার্বন, Mn এবং Fe-র সংকর ধাতু) যোগ করে নির্দিষ্ট পরিমাণ কার্বন সরবরাহ করলেই রট আয়রন স্টিলে পরিণত হয়।

কাস্ট আয়রন	→	রট আয়রন	→	স্টিল
Fe এবং C—(2—4·5)%, S—(0·1—0·3)% P —(0·5—1)%, Si —(0·5—2)%, Mn—(0·1—0·2)%	S, Mn, P, Si, C ↑ বিসিমার কনভার্টারে উত্তপ্ত বায়ুপ্রবাহে 1600°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত করে অশুদ্ধিগুলির জারণ	Fe এবং কার্বন— 0·1%—0·15%	স্পাইজেল (Mn + Fe + C)	Fe এবং কার্বন 0·15%—1·5%

[B] পদ্ধতি ঃ স্টিল উৎপাদনের জন্য দু'রকম বিসিমার পদ্ধতি আছে—

(I) যে কাস্ট আয়রনে ফসফরাস অশুদ্ধি থাকে না, সেই কাস্ট আয়রন থেকে অ্যাসিড বিসিমার পদ্ধতি (Basic Bessemer Process) **দ্বারা স্টিল উৎপন্ন করা হয়। (II) যে কাস্ট আয়রনে অন্যান্য অশুদ্ধির সঙ্গে ফসফরাস অশুদ্ধি রূপে বর্তমান থাকে, সেই কাস্ট আয়রন থেকে বেসিক বিসিমার পদ্ধতি** (Basic Bessemer Process) **দ্বারা স্টিল উৎপন্ন করা হয়।**

(I) অ্যাসিড বিসিমার পদ্ধতি (Acid Bessemer Process) **ঃ**

(a) বিসিমার কনভার্টারের বর্ণনা ঃ বিসিমার কনভার্টারে কাস্ট আয়রন থেকে স্টিল উৎপাদন করা হয়। বিসিমার কনভার্টারটির বাইরের দিকটি **রট আয়রনের পাত** দিয়ে তৈরি এবং ভেতরটা ফায়ার ব্রিকস দিয়ে তৈরি। এটা অনেকটা ডিমের আকারে গঠিত। **অ্যাসিড বিসিমার পদ্ধতিতে ভেতরের দিকে সিলিকার (বালির) পুরু আস্তরণ দেওয়া থাকে।** কনভার্টারটি মাটি থেকে দুটি স্তম্ভের ওপর ঝোলানো অবস্থায় থাকে, একটি চাকার সাহায্যে একে ইচ্ছামতো সোজা, কাত বা উপুড় করে রাখা যায়। কনভার্টারের মধ্যে প্রবল বায়ুস্রোত চালনার জন্য নীচের দিকে কতকগুলি নল থাকে।



চিত্র 2.26 ঃ বিসিমার কনভার্টার

(b) পদ্ধতি ঃ সিলিকার আস্তরণযুক্ত কনভার্টারকে কাত করে ব্লাস্ট ফার্নেস থেকে উৎপন্ন গলিত কাস্ট আয়রনকে কনভার্টারের মধ্যে ঢালা হয়। তারপর কনভার্টারকে খাড়া অবস্থায় রেখে অতিরিক্ত চাপে গলিত কাস্ট আয়রনের মধ্য দিয়ে উত্তপ্ত বায়ুপ্রবাহ তীব্রবেগে চালনা করা হয়।

(c) বিক্রিয়া ঃ (i) কাস্ট আয়রনের মধ্যস্থ **সালফার** বায়ুর O_2 দ্বারা জারিত হয়ে **সালফার ডাইঅক্সাইডে** পরিণত হয়ে বেরিয়ে যায়।

(ii) কাস্ট আয়রনের মধ্যস্থ **সিলিকন** জারিত হয়ে **সিলিকায়** পরিণত হয়।

(iii) কাস্ট আয়রনের মধ্যস্থ **ম্যাঙ্গানিজ** বায়ুর O_2 দ্বারা জারিত হয়ে **ম্যাঙ্গানাস অক্সাইডে** পরিণত হয়।

(iv) সিলিকনের জারণে উৎপন্ন SiO_2 এবং কনভার্টারের আস্তরণের SiO_2, ম্যাঙ্গানাস অক্সাইডের সঙ্গে যুক্ত হয়ে **ম্যাঙ্গানাস সিলিকেট** ($MnSiO_3$) **ধাতুমল** উৎপন্ন করে। বিক্রিয়াগুলি **তাপ-উৎপাদক, এই উৎপন্ন তাপে চুল্লির ভেতরের আয়রন গলিত অবস্থায় থাকে।**

$$S + O_2 = SO_2 \quad ; \quad 2Mn + O_2 = 2MnO$$
$$Si + O_2 = SiO_2 \quad ; \quad MnO + SiO_2 = \underset{\text{(ধাতুমল)}}{MnSiO_3}$$

(v) কিছু পরিমাণ আয়রন বাতাসের O_2 দ্বারা জারিত হয়ে **ফেরিক অক্সাইড** উৎপন্ন করে। $4Fe + 3O_2 = 2Fe_2O_3$

কিন্তু উৎপন্ন Fe_2O_3, কাস্ট আয়রনের মধ্যস্থ কার্বনকে জারিত করে CO-তে পরিণত করে এবং নিজে বিজারিত হয়ে Fe-তে পরিণত হয়।
$$Fe_2O_3 + 3C = 2Fe + 3CO\uparrow$$

(vi) সবশেষে কাস্ট আয়রনের মধ্যস্থ **কার্বন বায়ুর O_2 দ্বারা জারিত হয়ে কার্বন মনোক্সাইড** উৎপন্ন করে। এই উৎপন্ন CO **চুল্লির মুখে নীল শিখায় জ্বলতে থাকে।** $2C + O_2 = 2CO\uparrow$। প্রায় 8—10 মিনিটের মধ্যে কার্বন জারিত হয়ে অপসারিত হয়, তখন চুল্লির মুখে নীল শিখা নিভে যায়।

(vii) এইবার **বায়ুপ্রবাহ চালনা বন্ধ করে কনভার্টারকে কাত করে, গলিত আয়রনের সঙ্গে পরিমাণমতো স্পাইজেল** (C, Mn এবং Fe-এর সংকর) যোগ করা হয়। **এই স্পাইজেলকে ভালভাবে মেশানোর জন্য কনভার্টারকে আবার খাড়া করে**

কয়েক সেকেন্ডের জন্য বায়ুপ্রবাহ চালনা করা হয়। এর ফলে স্টিল উৎপন্ন হয়। চুল্লিকে কাত করে গলিত স্টিলকে ছাঁচে ঢালা হয়। এই সময় সামান্য Al বা টাইটেনিয়াম আয়রন সংকর ধাতু স্টিলে যোগ করে স্টিলের মধ্যস্থ বায়ুর বুদ্‌বুদ দূর করা হয়।

● **স্পাইজেলের কাজ ঃ** স্পাইজেলের কাজ হল তিনটি ঃ

(i) অক্সিজেন অপসারকরূপে ঃ গলিত আয়রনের মধ্যে অক্সিজেন থাকলে স্পাইজেল সেই অক্সিজেন দূর করে।

(ii) আয়রনের কিছু অংশ জারিত হয়ে FeO-তে পরিণত হলে, সেই FeO স্পাইজেলের Mn এবং C দ্বারা বিজারিত হয়ে আয়রনে পরিণত হয়। $FeO + Mn = MnO + Fe$; $FeO + C = Fe + CO$

(iii) কার্বনীকরণ ঃ স্পাইজেলের অতিরিক্ত Mn এবং C গলিত আয়রনে দ্রবীভূত হয়ে পরিমাণমতো কার্বন সরবরাহ করে, ফলে আয়রন স্টিলে পরিণত হয়।

(II) বেসিক বিসিমার পদ্ধতি (Basic Bessemer Process) **ঃ (a)** কাস্ট আয়রনের মধ্যে অন্যান্য অশুদ্ধির সঙ্গে ফসফরাস অশুদ্ধি থাকলে টমাস ও গিলক্রাইস্টের প্রবর্তিত বেসিক বিসিমার পদ্ধতি প্রয়োগ করা হয়।

এই পদ্ধতিতে **কনভার্টারের ভেতরের দেয়ালে ক্ষারকীয় পদার্থ ম্যাগনেশিয়াম অক্সাইড বা ডলোমাইটের** ($CaCO_3$, $MgCO_3$) **পুরু আস্তরণ দেওয়া থাকে।**

(b) গলিত কাস্ট আয়রনকে কনভার্টারের মধ্যে ঢেলে তীব্রভাবে উত্তপ্ত বায়ুপ্রবাহ চালনা করা হয়। ফলে কাস্ট আয়রনের সালফার, সিলিকন ও ম্যাঙ্গানিজ জারিত হয়ে অক্সাইডে পরিণত হয়। পরে কার্বন ও ফসফরাস জারিত হয়। এই বিক্রিয়াগুলি তাপ উৎপাদক বলে প্রচুর তাপ উৎপন্ন হয়। এই তাপ কনর্ভার্টারের মধ্যস্থ কাস্ট আয়রনকে গলিত অবস্থায় রাখে।

(c) বিক্রিয়া ঃ (i) কাস্ট আয়রনের মধ্যস্থ **সালফার** বায়ুর O_2 দ্বারা জারিত হয়ে উদ্‌বায়ী SO_2-তে পরিণত হয়ে দূর হয়।

(ii) সিলিকন বায়ুর O_2 দ্বারা জারিত হয়ে SiO_2-তে পরিণত হয়।

(iii) ম্যাঙ্গানিজ বায়ুর O_2 দ্বারা জারিত হয়ে ম্যাঙ্গানাস অক্সাইডে পরিণত হয়।

(iv) উৎপন্ন ম্যাঙ্গানাস অক্সাইড, উৎপন্ন SiO_2-এর সঙ্গে যুক্ত হয়ে ম্যাঙ্গানাস সিলিকেট ($MnSiO_3$), ধাতুমল উৎপন্ন করে।

(v) আয়রনের কিছুটা জারিত হয়ে Fe_2O_3-তে পরিণত হলেও, উৎপন্ন Fe_2O_3, কার্বনকে জারিত করে CO-তে পরিণত করে এবং নিজে বিজারিত হয়ে Fe-তে পরিণত হয়।

(vi) এরপর C বায়ুর O_2 দ্বারা জারিত হয়ে CO উৎপন্ন করে। এই CO কনভার্টারের মুখে নীল শিখায় জ্বলতে থাকে। কার্বন পুড়ে গেলে চুল্লির মুখের নীল শিখা নিভে যায়।

(vii) এর পরেও কয়েক মিনিট ধরে উচ্চচাপে বায়ুপ্রবাহ চালনা করা হয়। এর ফলে কাস্ট আয়রনের মধ্যস্থ অবশিষ্ট ফসফরাস জারিত হয়ে P_2O_5 উৎপন্ন করে।

(viii) এই উৎপন্ন P_2O_5, আস্তরণের CaO ও MgO-এর সঙ্গে যুক্ত হয়ে **ক্যালশিয়াম ও ম্যাগনেশিয়াম ফসফেট (ধাতুমল) উৎপন্ন করে।** এই ক্ষারকীয় ধাতুমলকে টমাস ধাতুমল (Thomas slag) বলে। জমিতে ভালো সার হিসাবে এর ব্যবহার আছে। এরপর বায়ুপ্রবাহ চালনা বন্ধ করে কনভার্টারকে কাত করে প্রথমে ধাতুমল দূর করা হয়, পরে কনভার্টারকে সোজা করে লোহার হাতায় করে পরিমাণমতো স্পাইজেল যোগ করে স্টিল উৎপাদন করা হয়।

$$S + O_2 = SO_2\uparrow \qquad 2C + O_2 = 2CO\uparrow$$
$$2Mn + O_2 = 2MnO \qquad 4P + 5O_2 = 2P_2O_5$$
$$MnO + SiO_2 = MnSiO_3 \qquad 3CaO + P_2O_5 = Ca_3(PO_4)_2$$

2.29. সিমেন্স-মার্টিন ওপন হার্থ পদ্ধতি [Simens-Martin Open Hearth Process]

উৎপন্ন হার্থ পদ্ধতি হল উচ্চমানের স্টিল উৎপন্ন করার সবচেয়ে আধুনিক পদ্ধতি। এই পদ্ধতিতে ওপেন হার্থ চুল্লির মধ্যে **কাস্ট আয়রনের** সঙ্গে কিছু পরিমাণ **(i) হেমাটাইট আকরিক** ও **(ii) অব্যবহার্য স্টিল** মিশিয়ে উত্তপ্ত প্রডিউসার গ্যাস এবং বায়ুর মিশ্রণ দিয়ে মিশ্রণটিকে গলিয়ে স্টিল উৎপন্ন করা হয়।

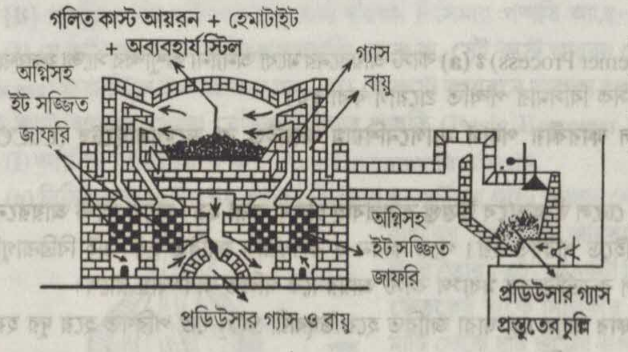
স্টিল উৎপন্ন করার এই পদ্ধতিটি তিনটি বিষয়ের উপর দাঁড়িয়ে আছে—

(i) কাস্ট আয়রনে উপস্থিত সব অশুদ্ধিগুলি হেমাটাইট দ্বারা জারিত হয়ে যায় এবং অবশিষ্ট যা থাকে সেগুলি বায়ুর O_2 দ্বারা জারিত হয়ে যায়।

(ii) অব্যবহার্য স্টিল যোগ করার ফলে কার্বন এবং সিলিকনের পরিমাণ অনেক কমে যায়।

(iii) প্রডিউসার গ্যাস এবং বায়ুর মিশ্রণের জ্বলনে যে তাপ উৎপন্ন হয় সেই তাপকে তাপ পুনরুদ্ধারের কাজে ব্যবহার করা হয়। এর ফলে জ্বালানির খরচ অনেক কমে যায় এবং চুল্লির মধ্যে উচ্চ উষ্ণতা (1800ºC) বজায় রাখা সম্ভব হয়।

[A] বর্ণনা ঃ ওপেন হার্থ চুল্লি (Open Hearth Furnace) ঃ স্টিল উৎপাদনের জন্য ওপেন হার্থ চুল্লিটি অগ্নিসহ ইট দিয়ে তৈরি। এর বাইরের দিকটা স্টিলের পাত দিয়ে ঢাকা থাকে। চুল্লিটির মধ্যে একটি বড়ো অগভীর চারকোণা চুল্লি-বক্ষ (Hearth) থাকে। চুল্লির ছাদটি নীচু। এই ছাদে উত্তপ্ত গ্যাস প্রতিফলিত হয়ে কাস্ট আয়রনকে গলিত অবস্থায় রাখে। চুল্লি-বক্ষের চারদিকের দেয়ালে **(i) অ্যাসিড পদ্ধতিতে** সিলিকা (ফসফরাসমুক্ত কাস্ট আয়রনের জন্য) এবং **(ii) ক্ষারীয় পদ্ধতিতে** CaO এবং MgO-এর আস্তরণ দেওয়া থাকে (ফসফরাসযুক্ত কাস্ট আয়রনের জন্য)। চুল্লির দুই প্রান্তে গ্যাস প্রবেশ ও নির্গমনের ব্যবস্থা আছে। চুল্লির দুই দিকে একজোড়া করে অগ্নিসহ ইটের জাফরি থাকে। এগুলি **তাপ পুনরুদ্ধার কাজে ব্যবহৃত হয়**। এই চুল্লির কাছেই কোক পুড়িয়ে প্রডিউসার গ্যাস উৎপন্ন করে ওই গ্যাসকে **অতিরিক্ত বায়ুর সঙ্গে মিশিয়ে** একদিকের অগ্নিসহ ইটের জাফরির মধ্য দিয়ে চুল্লির বক্ষের ভেতরে নিয়ে জ্বালানো হয়। দগ্ধ গ্যাস চুল্লির অন্য দিকের জাফরির ভেতর দিয়ে চালনা করে বের করে দেওয়া হয়। এর ফলে জাফরির ইটগুলি খুব উত্তপ্ত হয়ে লোহিততপ্ত হয়ে ওঠে। এরপর প্রডিউসার গ্যাস ও বায়ুর মিশ্রণকে ঘুরিয়ে উত্তপ্ত ইটের জাফরির ভেতর দিয়ে চালনা করে চুল্লির মধ্যে নিয়ে যাওয়া হয়। এইভাবে উত্তপ্ত প্রডিউসার গ্যাস ও বায়ুর মিশ্রণ ব্যবহার করে চুল্লির উষ্ণতা প্রায় 1800ºC-এ তোলা হয়। এই প্রক্রিয়া পর্যায়ক্রমে চলতে থাকে। এই পদ্ধতিকে **তাপ পুনরুৎপাদন পদ্ধতি** (Heat regeneration process) বলে।



চিত্র 2.27 ঃ ওপেন হার্থ পদ্ধতি

[B] বিক্রিয়া (Reaction) ঃ ব্লাস্ট ফার্নেস থেকে গলিত কাস্ট আয়রনকে সরাসরি ওপেন হার্থ চুল্লির মধ্যে ঢেলে মাঝে মাঝে হেমাটাইট চূর্ণ ও কারখানার অব্যবহার্য স্টিলের টুকরো যোগ করা হয়।

(i) কাস্ট আয়রনের অশুদ্ধিগুলি (C, S, Si, Mn, P) হেমাটাইটের অক্সিজেন ও অব্যবহার্য স্টিলের মরিচার অক্সিজেন এবং বায়ুর অক্সিজেন দ্বারা জারিত হয়ে অক্সাইডে পরিণত হয়।

$$2Fe_2O_3 + 3Si = 4Fe + 3SiO_2 \quad ; \quad Fe_2O_3 + 3Mn = 2Fe + 3MnO$$

$$2F_2O_3 + 3S = 4Fe + 3SO_2\uparrow$$

$$Fe_2O_3 + 3C = 2Fe + 3CO\uparrow$$

$$5Fe_2O_3 + 6P = 10Fe + 3P_2O_5$$

(ii) SiO_2 ও MnO যুক্ত হয়ে ম্যাঙ্গানাস সিলিকেট ($MnSiO_3$) ধাতুমল উৎপন্ন করে। $MnO + SiO_2 = MnSiO_3$

(iii) কিছু পরিমাণ কার্বন বায়ুর O_2 দ্বারা জারিত হয়ে CO-রূপে বেরিয়ে যায়। $2C + O_2 = 2CO$

(iv) ক্ষারকীয় পদ্ধতিতে কাস্ট আয়রনের মধ্যস্থ ফসফরাস, হেমাটাইট দ্বারা জারিত হয়ে P_2O_5 উৎপন্ন করে ও আস্তরণের MgO এবং CaO-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে যথাক্রমে $Mg_3(PO_4)_2$ এবং $Ca_3(PO_4)_2$-এ পরিণত হয়ে ধাতুমলে পরিণত হয়।

$$3CaO + P_2O_5 = Ca_3(PO_4)_2 \text{ (ধাতুমল)} \quad ; \quad 3MgO + P_2O_5 = Mg_3(PO_4)_2 \text{ (ধাতুমল)}$$

(v) কাস্ট আয়রনের অশুদ্ধিগুলি দূর হয়ে গেলে পর গলিত আয়রনের উপরে থাকা ধাতুমলকে অপসারিত করে আয়রনের সঙ্গে হাতায় করে পরিমাণমতো স্পাইজেল মেশালে স্টিল উৎপন্ন হয়।

● **বিসিমার ও ওপেন হার্থ পদ্ধতির তুলনা ঃ**

(i) স্টিল উৎপাদনের সময়কাল ঃ বিসিমার পদ্ধতিতে **অল্প সময়ে** (8—15) **মিনিটে স্টিল তৈরি হয়**, ওপেন হার্থ পদ্ধতিতে অনেক বেশি সময়ে (8—10) **ঘন্টায় স্টিল উৎপন্ন হয়।**

(ii) স্টিল উৎপাদনের পরিমাণ ঃ বিসিমার পদ্ধতিতে ব্যবহৃত **কাস্ট আয়রনের চেয়ে কম পরিমাণে স্টিল পাওয়া যায়।** ওপেন হার্থ পদ্ধতিতে হেমাটাইট ও অব্যবহার্য স্টিল থেকেও স্টিল পাওয়া যায়, ফলে বেশি পরিমাণে স্টিল পাওয়া যায়।

(iii) জ্বালানি ও উৎপাদন খরচ ঃ বিসিমার পদ্ধতিতে কোনো জ্বালানির দরকার হয় না, তাই স্টিল প্রস্তুতে খরচ কম হয়। ওপেন হার্থে প্রডিউসার গ্যাস জ্বালানিরূপে ব্যবহৃত হয়। তাই স্টিল প্রস্তুত করতে বেশি খরচ পড়ে।

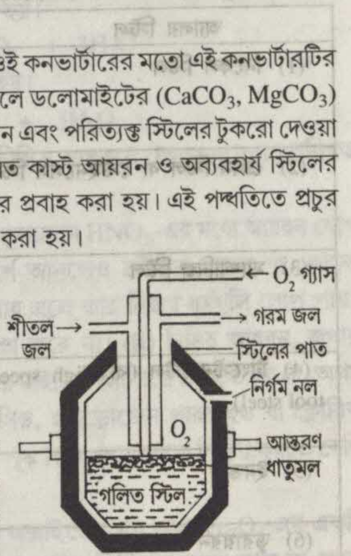
(iv) উৎপন্ন স্টিলের মান ঃ বিসিমার পদ্ধতিতে বিক্রিয়া খুব তাড়াতাড়ি সম্পন্ন হয় বলে বিচার করে অন্যান্য প্রয়োজনীয় উপাদান মিশিয়ে উঁচু মানের স্টিল উৎপন্ন করার সুযোগ পাওয়া যায় না, কিন্তু ওপেন হার্থ পদ্ধতিতে বিক্রিয়া ধীরে ধীরে ঘটে বলে প্রয়োজনীয় উপাদান মেশানোর সুযোগ পাওয়া যায় বলে এই পদ্ধতিতে **বেশ উন্নত মানের স্টিল পাওয়া যায়।**

(v) স্টিল থেকে ফসফরাস দূরীকরণ ঃ বিসিমার পদ্ধতিতে কাস্ট আয়রনের মধ্যস্থ ফসফরাসকে সম্পূর্ণ দূর করা যায় না, কিন্তু ওপেন হার্থ পদ্ধতিতে ফসফরাসকে সম্পূর্ণ দূর করা যায়।

● লিন্‌জ-ডোনাবিজ পদ্ধতিতে স্টিল উৎপাদন ঃ

L.D. পদ্ধতি যে কনভার্টারটি ব্যবহৃত হয় সেটি বিসিমারের কনভার্টারের মতোই তবে ওই কনভার্টারের মতো এই কনভার্টারটির তলদেশে বায়ু প্রবেশ করার জন্য কোনো ছিদ্রপথ থাকে না। কনভার্টারটির ভেতরের দেয়ালে ডলোমাইটের ($CaCO_3$, $MgCO_3$) আস্তরণ দেওয়া থাকে। প্রথমে কনভার্টারের ভেতর ব্লাস্ট ফার্নেস থেকে প্রস্তুত কাস্ট আয়রন এবং পরিত্যক্ত স্টিলের টুকরো দেওয়া হয়। একটি স্টিলের সূচাগ্র নলের সাহায্যে 5—10 atm চাপে অক্সিজেন গ্যাস ওই গলিত কাস্ট আয়রন ও অব্যবহার্য স্টিলের টুকরোর মধ্যে চালনা করা হয়—এই নলটির বাইরের দেয়ালের উপর দিয়ে ঠান্ডা জলের প্রবাহ করা হয়। এই পদ্ধতিতে প্রচুর তাপ উৎপন্ন হয় বলে উষ্ণতা নিয়ন্ত্রণে রাখার জন্য মাঝে মাঝে ইস্পাতের টুকরো যোগ করা হয়।

বিক্রিয়া—গলিত কাস্ট আয়রনের মধ্যে থাকা কার্বন, সালফার, ফসফরাস অশুদ্ধিগুলি উত্তপ্ত O_2 দ্বারা জারিত হয়ে উদ্‌বায়ী অক্সাইডে পরিণত হয়ে অপসারিত হয় এবং কনভার্টারের মুখে নীল শিখায় জ্বলতে থাকে। কাস্ট আয়রনের মধ্যস্থ Mn, Si, P প্রভৃতি অশুদ্ধিগুলি প্রথমে অক্সাইডে পরিণত হয় যা উৎপন্ন হওয়ার সাথে সাথে উৎপন্ন SiO_2-এর সাথে যুক্ত হয়ে $MnSiO_3$ ধাতুমলে পরিণত হয়। ফসফরাস O_2 দ্বারা জারিত হয়ে P_2O_5-এ পরিণত হয় যা আস্তরণের থেকে পাওয়া MgO এবং CaO-এর সাথে যুক্ত হয়ে যথাক্রমে $Mg_3(PO_4)_2$ এবং $Ca_3(PO_4)_2$-এ পরিণত হয়ে ধাতুমলে পরিণত হয়। কাস্ট আয়রন থেকে অশুদ্ধিগুলি জারিত হয়ে এইভাবে অপসারিত হলে পর কাস্ট আয়রন রট আয়রনে পরিণত হয়। ধাতুমল গলিত রট আয়রনের উপরে ভাসতে থাকে। কনভার্টারটিকে কাত করে ধাতুমলকে ফেলে দিলে কনভার্টারে পড়ে থাকে রট আয়রন।



চিত্র 2.28 ঃ L. D পদ্ধতি

ওই রট আয়রনের সাথে উপযুক্ত পরিমাণ স্পাইজেল এবং সংকর ধাতু যোগে বিশেষ বিশেষ ধরনের অ্যালয় স্টিল উৎপন্ন করা হয়।

বায়ু ব্যবহার করা হয় না বলে এই প্রক্রিয়ায় N_2 অনুপস্থিত থাকে বলে এই পদ্ধতিতে প্রাপ্ত স্টিল বিসিমার বা ওপেন হার্থ পদ্ধতিতে প্রাপ্ত স্টিলের চেয়ে অনেক উন্নতমানের হয়। এই পদ্ধতিতে তাপের অপচয়ও অনেক কম হয়।

● ডিউপ্লেক্স (Duplex) পদ্ধতি ঃ এটি একটি যুগ্ম পদ্ধতি। এই পদ্ধতিতে বিসিমার এবং ওপেন হার্থ পদ্ধতি যুক্তভাবে ব্যবহৃত হয়। এই পদ্ধতি দ্বারা উৎপাদিত স্টিল খুব উঁচু মানের হয়।

● স্টিলের কঠিনীকরণ (Hardening), কোমলায়ন (Annealing) এবং পানদান (Tempering) ঃ

(i) কঠিনীকরণ ঃ স্টিলকে লৌহিততপ্ত করে হঠাৎ ঠান্ডা জলে বা তেলের মধ্যে ডুবিয়ে ঠান্ডা করলে স্টিল খুব শক্ত হয়ে যায়। এই পদ্ধতিকে স্টিলের **কঠিনীকরণ** বলে। এইভাবে কঠিন স্টিল পাওয়া যায়।

(ii) পানদান ঃ কঠিন স্টিলকে একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রা (250°C—300°C) পর্যন্ত উত্তপ্ত করে ধীরে ধীরে ঠান্ডা করলে ওর ভঙ্গুরতা লোপ পেয়ে নমনীয় হয়। এই পদ্ধতিকে **পানদান** বলে।

(iii) কোমলায়ন ঃ স্টিলকে খুব বেশি লোহিততপ্ত করে ধীরে ধীরে ঠান্ডা করলে নমনীয় স্টিল উৎপন্ন হয়। এই পদ্ধতিকে **কোমলায়ন** বলে।

● কাস্ট আয়রন, স্টিল ও রট আয়রনের ব্যবহার ঃ

কাস্ট আয়রন	স্টিল	রট আয়রন
ছাঁচে ঢালাই করে রেলিং, নল, আলোর স্তম্ভ, কড়াই, উনুনের শিক প্রস্তুত করা যায়। বেশির ভাগ কাস্ট আয়রন স্টিল ও রট আয়রন প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত হয়।	রেল-লাইন, রেল-ইঞ্জিন, মোটর, জাহাজ, ছাদের বিম, যুদ্ধের বিভিন্ন অস্ত্র, নানারকম যন্ত্রপাতি, চাষের জন্য লাঙলের ফলা, ট্রাক্টর, ছুরি, কাঁচি, অস্ত্রচিকিৎসার যন্ত্রপাতি প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত হয়।	তড়িৎ-চুম্বকের ভেতরের মজ্জা (Core), তার, শিকল, ডায়নামো, বৈদ্যুতিক মোটরের অংশ, ঘড়ির স্প্রিং প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত হয়।

● **ইস্পাতের নাইট্রাইডিং ঃ** বিশেষ কতকগুলি কাজে ব্যবহারের জন্য স্টিলের উপরতলটিকে অত্যন্ত শক্ত ও দৃঢ় করার প্রয়োজন হয়। 1% Al যুক্ত স্টিলকে NH_3 গ্যাসের মধ্যে 450ºC—650ºC উষ্ণতায় উত্তপ্ত করলে, NH_3 বিয়োজিত হয়ে N_2 গ্যাস উৎপন্ন করে যা ওই স্টিলের উপরতলে অধিশোষিত হয়ে ধাতব নাইট্রাইডের খুব শক্ত এবং দৃঢ় অথচ পাতলা একটি আস্তরণের সৃষ্টি করে। এই পদ্ধতিকে স্টিলের নাইট্রাইডিং বলে।

● **অ্যালয় স্টিল (Alloy Steel) ঃ** স্টিলের সঙ্গো বিভিন্ন অনুপাতে অন্য ধাতু যোগ করে অত্যন্ত প্রয়োজনীয় ও বিশেষ ধর্মসম্পন্ন সংকর ধাতু পাওয়া যায়। এইরকম স্টিলকে অ্যালয় স্টিল বলে। নীচে বিশেষ ধর্মবিশিষ্ট অ্যালয় স্টিলের নাম, উপাদানের শতকরা অনুপাত, ধর্ম এবং ব্যবহারের তালিকা দেওয়া হল—

অ্যালয় স্টিল	গঠন ও ধর্ম	ব্যবহার
(1) **নিকেল স্টিল**	(2—5)% নিকেল; খুব শক্ত, ক্ষয়রোধী ও গুণসম্পন্ন।	রেললাইন, তার, এরোপ্লেনের প্রপেলার ও অন্যান্য যন্ত্রের অংশ, মোটরগাড়ি, বর্ম ইত্যাদি প্রস্তুতিতে।
(2) **ক্রোম স্টিল বা স্টেইনলেস স্টিল**	14% Cr, 0·3% কার্বন, 0·7% Ni, বাকি আয়রন থাকে; উজ্জ্বল, ক্ষয়রোধী এবং মরিচা পড়ে না।	পেষন-যন্ত্র প্রস্তুতিতে, শল্য চিকিৎসার যন্ত্রপাতি প্রস্তুতিতে, মোটর ও সাইকেলের যন্ত্রের অংশ এবং বাসন প্রস্তুতিতে।
(3) **ম্যাঙ্গানিজ স্টিল**	9%—14% Mn থাকে; খুব শক্ত ও ঘাতসহনশীল, খুব কম ক্ষয় হয়।	রেললাইন, ট্রামলাইন, সৈন্যদের হেলমেট, পাথর গুঁড়ো করার যন্ত্র, সিন্দুক প্রস্তুতিতে।
(4) **টাংস্টেন স্টিল** (বা High speed tool steel)	14% টাংস্টেন এবং 3%—8% Cr থাকে। অত্যন্ত তাপসহ, লোহিত তাপেও কঠিন থাকে।	যে সমস্ত যন্ত্রে দ্রুত ঘূর্ণনে তাপ উৎপন্ন হয়, সেইসব যন্ত্র প্রস্তুতিতে।
(5) **ইনভার**	36% Ni, 0·3% C থাকে। প্রসারণ গুণাঙ্ক খুবই কম।	পরিমাপের যন্ত্র (যেমন—মিটার স্কেল) প্রস্তুতিতে এবং পেন্ডুলাম দণ্ড প্রস্তুতিতে।
(6) **ডুরায়রন**	16% Si	H_2SO_4, HCl প্রভৃতি অ্যাসিড রাখবার পাত্র নির্মাণে।
(7) **অ্যালনিকো**	20% Ni, 12% Al, 5% Co, উচ্চ চৌম্বক ধর্মবিশিষ্ট।	উচ্চ ক্ষমতাযুক্ত চুম্বক প্রস্তুতিতে।
(8) **'18—8' স্টিল**	18% Cr, 8% Ni, ক্ষয় কম হয়।	ছুরি, কাঁচি প্রভৃতি প্রস্তুত করা হয়।

2.30. আয়রনের ধর্ম [Properties of iron]

(A) ভৌতধর্ম ঃ (i) বিশুদ্ধ আয়রন **সাদা উজ্জ্বল** ধাতু। **(ii)** আয়রন **প্রসার্যমান, নমনীয় কিন্তু খুব শক্ত নয়। (iii)** আয়রনের আপেক্ষিক গুরুত্ব 7·85। **(iv)** গলনাঙ্ক 1535ºC। **(v)** স্ফুটনাঙ্ক 2550ºC। **(vi)** আয়রনের **চৌম্বক ধর্ম আছে।**

(B) রাসায়নিক ধর্ম ঃ (1) বায়ুর সঙ্গো ক্রিয়া ঃ শুষ্ক বায়ুর সঙ্গো বিশুদ্ধ আয়রনের কোনো ক্রিয়া নেই, কিন্তু আর্দ্র বায়ুর মধ্যে আয়রনের ওপর জলযুক্ত ফেরিক অক্সাইডের ($2Fe_2O_3$, $3H_2O$) (মরিচা) আস্তরণ পড়ে। কার্বন ডাইঅক্সাইডের উপস্থিতিতে আয়রনের ওপর তাড়াতাড়ি মরিচা পড়ে।

(2) অক্সিজেনের সঙ্গো ক্রিয়া ঃ আয়রনকে অক্সিজেনের মধ্যে তীব্রভাবে উত্তপ্ত করলে **ফেরোসোফেরিক অক্সাইড** উৎপন্ন হয়।

$$2Fe + 2O_2 = Fe_3O_4$$

(3) জলের সঙ্গো ক্রিয়া ঃ লোহিততপ্ত আয়রনের ওপর স্টিম চালনা করলে **ফেরোসোফেরিক অক্সাইড** ও হাইড্রোজেন উৎপন্ন হয়।

$$3Fe + 4H_2O = Fe_3O_4 + 4H_2$$

(4) ক্ষারের সঙ্গো বিক্রিয়া ঃ (a) সাধারণ অবস্থায় ক্ষারের সঙ্গো আয়রনের কোনো বিক্রিয়া হয় না, তবে তীব্র ক্ষারের গাঢ় দ্রবণের সঙ্গো বিক্রিয়ায় **ফেরাইট লবণ** উৎপন্ন হয় এবং H_2 নির্গত হয়।

$$2Fe + 2NaOH + 2H_2O = 2NaFeO_2 + 3H_2\uparrow$$

(b) আয়রন ইলেকট্রোড ব্যবহার করে **কস্টিক** সোডা বা **কস্টিক পটাশ দ্রবণের** তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করলে অ্যানোডের আয়রন ক্ষারের সঙ্গে বিক্রিয়া করে জারিত হয়ে **ফেরেট** যৌগ উৎপন্ন করে। **ফেরেট যৌগে আয়রনের জারণ সংখ্যা +6 হয়।**

(5) অ্যাসিডের সঙ্গে ক্রিয়া : (i) পাতলা HCl বা H_2SO_4 **ফেরাস লবণ ও হাইড্রোজেন** উৎপন্ন করে।

$$Fe + H_2SO_4 = FeSO_4 + H_2 \quad ; \quad Fe + 2HCl = FeCl_2 + H_2$$

(ii) Fe গাঢ় ও উষ্ণ H_2SO_4-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় **ফেরিক সালফেট ও সালফার ডাইঅক্সাইড** দেয়।

$$2Fe + 6H_2SO_4 = Fe_2(SO_4)_3 + 3SO_2 + 6H_2O$$

(iii) লঘু HNO_3-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় **নাইট্রেট ও অ্যামোনিয়াম নাইট্রেট** উৎপন্ন হয়।

$$4Fe + 10HNO_3 = 4Fe(NO_3)_2 + NH_4NO_3 + 3H_2O$$

(iv) উষ্ণ ও গাঢ় HNO_3-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় **ফেরিক নাইট্রেট** ও NO_2 উৎপন্ন হয়।

$$Fe + 6HNO_3 = Fe(NO_3)_3 + 3NO_2 + 3H_2O$$

(v) অত্যন্ত গাঢ় ও ধূমায়মান নাইট্রিক অ্যাসিডে বিশুদ্ধ আয়রন অল্প দ্রবীভূত হয়ে নিষ্ক্রিয় আয়রনে (Passive iron) **পরিণত হয়।**

● **নিষ্ক্রিয় আয়রন** (Passive iron) **:** অতি গাঢ় (আপেক্ষিক গুরুত্ব = 1·25) বা ধূমায়মান HNO_3-এর মধ্যে আয়রন যোগ করলে আয়রন নিষ্ক্রিয় হয়ে যায়। এই নিষ্ক্রিয় আয়রনকে গাঢ় HNO_3-এর সংস্পর্শে আনলেও দ্রবীভূত হয় না বা কোনো বিক্রিয়া করে না। এই অবস্থাকে আয়রনের নিষ্ক্রিয় অবস্থা বলে। আয়রন এই অবস্থায় এলে তার নিজস্ব ধর্মগুলি লোপ পায়। যেমন **(i)** নিষ্ক্রিয় আয়রন লঘু HCl বা H_2SO_4-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে H_2 উৎপন্ন করে না। **(ii)** নিষ্ক্রিয় আয়রন, কপার সালফেট দ্রবণ থেকে Cu, $AgNO_3$ দ্রবণ থেকে Ag মুক্ত করতে পারে না। **(iii)** পাতলা নাইট্রিক অ্যাসিডে দ্রবীভূত হয় না, অথচ সাধারণ আয়রনের ওই সমস্ত ধর্মগুলি দেখা যায়। গাঢ় HNO_3 ছাড়া ক্রোমিক অ্যাসিড, হাইড্রোজেন পারক্সাইড বা ক্লোরিক অ্যাসিডের সংস্পর্শে এলেও আয়রন নিষ্ক্রিয় হয়ে যায়। দেখা গেছে HNO_3-এর চেয়ে শুষ্ক NO_2 আয়রনকে নিষ্ক্রিয় করতে বেশি কার্যকরী।

নিষ্ক্রিয়তার কারণ : এর কারণ এই যে, **জারক দ্রব্যে ডোবালে আয়রনের উপর অক্সাইডের খুব সম্ভব Fe_3O_4-এর একটি সূক্ষ্ম, সুষম আস্তরণ পড়ে যায়, এইভাবে আচ্ছাদিত থাকার জন্য আয়রন স্বাভাবিক রাসায়নিক বিক্রিয়া করতে পারে না, ফলে আয়রন নিষ্ক্রিয় হয়ে যায়।** H_2 গ্যাসের মধ্যে উত্তপ্ত করলে এই নিষ্ক্রিয়তা দূর হয়।

(6) অধাতুর সঙ্গে বিক্রিয়া : লোহিততপ্ত অবস্থায় ক্লোরিনের সঙ্গে বিক্রিয়ায় **ফেরিক ক্লোরাইড** উৎপন্ন হয়।

$$2Fe + 3Cl_2 = 2FeCl_3$$

আয়রন চূর্ণের সঙ্গে **সালফার** বা **কার্বন** মিশিয়ে উত্তপ্ত করলে যথাক্রমে **ফেরাস সালফাইড ও আয়রন কার্বাইড** উৎপন্ন হয়।

$$Fe + S = FeS \quad ; \quad 3Fe + C = Fe_3C$$

(7) যুতযৌগ গঠন : 120ºC উষ্ণতায় **সূক্ষ্ম আয়রনের** ওপর দিয়ে কার্বন মনোক্সাইড গ্যাস চালনা করলে, আয়রন CO শোষণ করে উদ্‌বায়ী **আয়রন পেন্টাকার্বনিল** গঠন করে। $Fe + 5CO = Fe(CO)_5$

● **আয়রনে মরিচা পড়া এবং নিবারণের উপায় :** বিশুদ্ধ আয়রনে মরিচা পড়ে না। অবিশুদ্ধ আয়রনকে সাধারণ উষ্ণতায় আর্দ্র বায়ুর মধ্যে রেখে দিলে, লোহার ওপর লালচে-বাদামি রঙের একটা আস্তরণ পড়ে, একেই লোহার মরিচা পড়া বলে। মরিচা হল সোদক ফেরিক অক্সাইড। মরিচার মোটামুটি সংকেত $2Fe_2O_3, 3H_2O$; সদ্য উৎপন্ন মরিচার মধ্যে সামান্য ফেরিক হাইড্রক্সাইড, ফেরাস হাইড্রক্সাইড ও ফেরাস কার্বনেট বর্তমান থাকে। উৎপন্ন মরিচার আয়তন, আয়রনের আয়তনের চেয়ে বেশি, তাই মরিচা পড়া অংশটি শিথিল হয়ে পড়ে ফলে আয়রন ধীরে ধীরে ক্ষয়প্রাপ্ত হয়।

(a) মরিচা পড়ার কারণ : (i) জলীয় বাষ্প ও অক্সিজেনের উপস্থিতিতে অবিশুদ্ধ লোহায় মরিচা উৎপন্ন হয়। এদের যে-কোনো একটির অবর্তমানে লোহায় মরিচা পড়ে না। **(ii)** আয়রনের মধ্যে অবস্থিত অশুদ্ধিগুলির মরিচা পড়ার অন্যতম কারণ। **(iii)** বায়ুর মধ্যে উপস্থিত কার্বন ডাইঅক্সাইড মরিচা গঠনের বিক্রিয়াকে ত্বরান্বিত করে। দেখা গেছে ক্ষারকীয় পদার্থ মরিচা পড়তে বাধা দেয়। **(iv)** জলের মধ্যে ক্লোরাইড (Cl^-) বা সালফেট (SO_4^{2-}) আয়নের উপস্থিতি মরিচা গঠন দ্রুত করে।

(b) মরিচা নিবারণের উপায় : লোহার ওপর মরিচা পড়া বন্ধ করা যায় বিশেষ কয়েকটি উপায়ে—

(i) পীচকে ন্যাপথায় দ্রবীভূত করে, লোহার দ্রব্যকে সেই দ্রবণের মধ্যে ডুবিয়ে তুলে নিলে লোহার ওপরে দুর্ভেদ্য একটি আস্তরণ পড়ে যায়, ফলে জলীয় বাষ্প ও বায়ুর সংস্পর্শে লোহা আসতে পারে না বলে মরিচা পড়ে না।

(ii) লোহার দ্রব্যকে **লোহিততপ্ত করে,** সেই অবস্থায় এর ওপর দিয়ে **স্টিম চালনা করা হয়,** এর ফলে লোহার উপর **ফেরোসো-ফেরিক অক্সাইডের** (Fe_3O_4) একটি আস্তরণ পড়ে যায়, ফলে মরিচা পড়ে না।

(iii) লোহার দ্রব্যে গলিত **জিঙ্কের** কিংবা গলিত **টিনের প্রলেপ** দিলে মরিচা পড়ে না।

(iv) লোহার দ্রব্যের **উপর নিকেল বা ক্রোমিয়াম ধাতুর তড়িৎ-লেপন** করলে লোহায় মরিচা পড়া বন্ধ করা যায়।

(v) স্টিলের সঙ্গে 12%—14% **ক্রোমিয়াম ধাতু মিশিয়ে যে সংকর ইস্পাত** উৎপন্ন করা হয়, তাকে **স্টেনলেস স্টিল** বলে। এরকম স্টিলে মরিচা ধরে না।

(vi) লোহার দ্রব্যে **রেড লেড বা অ্যালুমিনিয়াম চূর্ণ ইত্যাদি রং** বা বার্নিশ লাগালে মরিচা পড়া বন্ধ হয়।

2.31. কয়েকটি প্রক্রিয়ার রাসায়নিক নীতি [Principles of the chemistry involved in some processes]

(1) গ্যালভানাইজেশন (Galvanisation) **ঃ** লোহার চেয়ে জিঙ্ক বেশি ইলেকট্রোপজিটিভ, অর্থাৎ জারিত হওয়ার প্রবণতা আয়রনের চেয়ে বেশি। তাই আয়রন ও জিঙ্ক এক সাথে থাকলে বায়ুর O_2 বা জলীয় বাষ্প দ্বারা আক্রান্ত হলে জিঙ্ক আগে আক্রান্ত হয় এবং লোহা আক্রান্ত হয় না। তাই লোহার দ্রব্যকে মরচে পড়ার হাত থেকে রক্ষা করার জন্য ওই দ্রব্যগুলির উপর জিঙ্কের প্রলেপ দেওয়া হয়। এই প্রক্রিয়াকে **দস্তালেপন** বা **গ্যালভানাইজেশন** বলে।

লোহার দ্রব্যে জিঙ্কের প্রলেপ বা গ্যালভানাইজেশন করতে হলে **(i)** প্রথমে লোহার দ্রব্যের উপর বালির স্রোত চালনা করে পরিষ্কার করা হয়। **(ii)** পরে লঘু HCl-এর মধ্যে ডুবিয়ে লোহার বস্তুটির উপরের অংশ থেকে মরিচা দূর করা হয়। পরে লোহার দ্রব্যটিকে জল দ্বারা ধৌত করা হয়। **(iii)** এরপর সামান্য **অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড (বিগালক)** মেশানো গলিত জিঙ্কের মধ্যে লোহার দ্রব্যটি ডুবিয়ে তুলে নিলেই লোহার দ্রব্যের উপর জিঙ্কের প্রলেপ পড়ে। **(iv)** এরপর রোলার যন্ত্রের সাহায্যে চেপে জিঙ্কের ওই আস্তরণটি সমান পুরু করা হয়। এইভাবে জিঙ্ক প্রলেপযুক্ত লোহাকে **গ্যালভানাইজড আয়রন** বলে।

ব্যবহার ঃ লোহার দ্রব্যের উপরে জিঙ্কের প্রলেপ দিলে লোহার দ্রব্যে মরিচা পড়ে না। করোগেট টিন, লোহার বালতি, জলের মগ ইত্যাদির উপর জিঙ্কের প্রলেপ দেওয়ার ফলে এগুলিতে আর মরচে পড়ে না।

(2) অ্যানোডাইজিং (Anodising) **ঃ** জল, বায়ু বা O_2 দ্বারা অ্যালুমিনিয়াম অক্সাইড আক্রান্ত হয় না তাই জল, বায়ু এবং বিভিন্ন লবণের প্রভাবে Al বা ওর সংকর ধাতুর তৈরি দ্রব্যের ক্ষয় নিবারণের জন্য, ওই দ্রব্যগুলির উপর তড়িদ্‌বিশ্লেষণ পদ্ধতিতে অ্যালুমিনিয়াম অক্সাইডের (Al_2O_3) একটি পাতলা প্রলেপ দেওয়া হয়। কোনো দ্রব্যের উপর Al_2O_3-এর এইভাবে প্রলেপ দেওয়ার পদ্ধতিকে অ্যানোডাইজিং পদ্ধতি বলে। পাতলা স্তরটির বেধ 1×10^{-5} মিমি-র চেয়েও কম হয়। তড়িদ্‌বিশ্লেষণ পাত্রে **অ্যালুমিনিয়াম বোরেট কিংবা ক্রোমিক অ্যাসিডের দ্রবণকে তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যরূপে ব্যবহার করা হয়।** Al-এর তৈরি কোনো দ্রব্যকে পরিষ্কার করে অ্যানোডরূপে ব্যবহার করা হয়। তড়িৎ প্রবাহ চালনা করলে অ্যানোয়ডীয় জারণের ফলে দ্রব্যটির উপর Al_2O_3-এর সূক্ষ্ম আস্তরণ পড়ে যায়।

(3) ক্যালোরাইজিং (Calorising) **ঃ** কখনও কখনও Fe, Cu, Ni, ব্রোঞ্জ, স্টিল প্রভৃতির তৈরি দ্রব্যকে জলবায়ু অথবা অন্যান্য ক্ষয় থেকে রক্ষা করার জন্য ওই দ্রব্যের উপর Al_2O_3-এর প্রলেপ দেওয়ার দরকার হয় কারণ Al_2O_3 জলবায়ু দ্বারা আক্রান্ত হয় না। এর জন্য দ্রব্যটিকে Al অথবা Al_2O_3-এর চূর্ণের মিশ্রণে ঢেকে 1000°C উষ্ণতায় H_2 গ্যাস প্রবাহে অনেকক্ষণ ধরে উত্তপ্ত করা হয়। এর ফলে বস্তুটির উপর অ্যালুমিনার (Al_2O_3) একটি সূক্ষ্ম আস্তরণ পড়ে যায়। বস্তুগুলির উপর Al_2O_3-এর এইভাবে প্রলেপ দেওয়ার পদ্ধতিকে ক্যালোরাইজিং বলে। ক্যালোরাইজিং এর পর বস্তুগুলির উচ্চতাপে জারণ রোধ করা এবং অ্যাসিডের প্রভাব রোধ করার ক্ষমতা জন্মে।

(4) তড়িৎ লেপন (Electroplating) **ঃ** তড়িদ্‌বিশ্লেষ্যের মধ্য দিয়ে তড়িৎপ্রবাহ করলে তড়িদ্দ্বারে বিভিন্ন আয়নগুলি মুক্ত হয়। ক্যাটায়নগুলি ক্যাথোডে গিয়ে ইলেকট্রন গ্রহণ দ্বারা বিজারিত হয়ে ধাতুতে পরিণত হয়।

তামা, লোহা, অ্যালুমিনিয়াম প্রভৃতি ধাতুর তৈরি দ্রব্যকে জলবায়ুর প্রকোপ থেকে রক্ষা করার জন্য এবং সুন্দর দেখাবার জন্য ওই সব দ্রব্যের উপর তড়িদ্‌বিশ্লেষণ প্রক্রিয়ায়, সিলভার, নিকেল, গোল্ড, ক্রোমিয়াম ইত্যাদি ধাতুর প্রলেপ দেওয়া হয়। এই পদ্ধতিকে **তড়িৎ লেপন** (Electroplating) বলে।

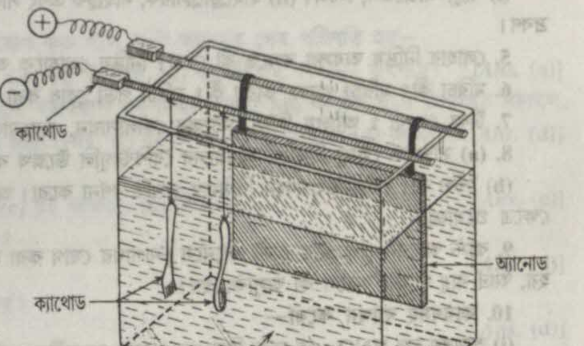
ধাতব লবণগুলি জলীয় দ্রবণে আয়নিত অবস্থায় থাকে। দুটি ইলেকট্রোডের সাহায্যে ওই দ্রবণে তড়িৎ প্রবাহ চালনা করলে ধাতব আয়নগুলি (ক্যাটায়ন) ক্যাথোডের দিকে যায় এবং ক্যাথোডের ইলেকট্রন গ্রহণ করে নিস্তড়িৎ ধাতুরূপে জমা হয়। এখন যে ধাতুর প্রলেপ দিতে হবে সেই ধাতুকে অ্যানোডরূপে এবং ওই ধাতুর কোনো লবণের জলীয় দ্রবণকে ক্যাথোডরূপে ব্যবহার করে তড়িৎ চালনা করলে, অ্যানোডের ধাতু ধাতব আয়ন রূপে দ্রবণে চলে আসে—ওই ধাতব আয়নগুলি আগের মতো ক্যাথোডে যায় এবং নিস্তড়িৎ হয়। এর ফলে ক্যাথোডের উপর সব সময় ধাতুর প্রলেপ পড়তে থাকে।

জিঙ্ক সালফেটের জলীয় দ্রবণ এইভাবে বিয়োজিত হয়— $ZnSO_4 \rightleftharpoons Zn^{2+} + SO_4^{2-}$

এই অবস্থায় ওই দ্রবণে তড়িৎ চালনা করলে Zn^{2+} আয়নগুলি ক্যাথোডে তড়িৎ মুক্ত হয়ে জমা হবে। SO_4^{2-} আয়ন অ্যানোডে যাবে এবং Zn-এর তৈরি অ্যানোডের সঙ্গে বিক্রিয়া করে $ZnSO_4$-এ পরিণত হয়ে দ্রবণে চলে আসবে।

$$Zn^{2+} + SO_4^{2-} \rightleftharpoons ZnSO_4$$

এখন অ্যানোডের ধাতব আয়ন যদি ধাতব লবণের দ্রবণে অদ্রাব্য হয় তাহলে দ্রবণে ধাতব আয়ন উৎপন্ন করবে না। এক্ষেত্রে দ্রবণে ধাতব আয়নের পরিমাণ বাড়ানোর জন্য ধাতব লবণের দ্রবণ মাঝে মাঝে যোগ করতে হবে। তড়িৎ লেপনে নীচের বিষয়গুলি মনে রাখা দরকার—**(i)** দ্রবণে ধাতব আয়নের পরিমাণ বেশি থাকা দরকার। **(ii)** দ্রবণের তড়িৎ পরিবহন ক্ষমতা বেশি হওয়া দরকার, যদি পরিবহন ক্ষমতা কম হয় তাহলে উচ্চ পরিবহন ক্ষমতা বিশিষ্ট ধাতব লবণ যোগ করতে হবে। **(iii)** ধাতব লবণের দ্রবণটি যেন স্থায়ী হয়—বায়ুর সাথে বা জলের সাথে লবণটির যেন কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়া না ঘটে। দ্রবণে অ্যানোডটি যেন তাড়াতাড়ি দ্রবীভূত হয়। **(iv)** ধাতব লেপনটি যেন অপর ধাতুটির উপর সমভাবে পাতলা স্তরের প্রলেপ ফেলে।



চিত্র 2.29 : তড়িৎ লেপন প্রক্রিয়া

পদ্ধতি : যে বস্তুর উপর তড়িৎ-লেপন করতে হবে তাকে পর পর লঘু ক্ষার দ্রবণ, অ্যাসিড দ্রবণ এবং সব শেষে পাতিত জল দিয়ে ভালো করে ধুয়ে পরিষ্কার করা হয়। **এই পরিষ্কার করা দ্রব্যকে ভোল্টামিটারে ক্যাথোডরূপে ব্যবহার করা হয়। যে পদার্থের প্রলেপ দেওয়া হবে তাকে অ্যানোডরূপে ব্যবহার করা হয়। ভোল্টামিটারে যে পদার্থের প্রলেপ দেওয়া হবে সেই পদার্থের জলে দ্রাব্য লবণের দ্রবণ তড়িদ্বিশ্লেষ্য পদার্থরূপে ব্যবহার করা হয়।** দ্রবণের মধ্য দিয়ে তড়িৎপ্রবাহ করলে অ্যানোডের ধাতু ক্রমশ ক্ষয় পায় এবং ক্যাথোডে ঝুলানো বস্তুগুলির উপর ওই ধাতুর প্রলেপ পড়ে।

(i) সিলভার প্রলেপ : সিলভারের প্রলেপ দিতে হলে বিশুদ্ধ **সিলভারের পাতকে অ্যানোডরূপে** ব্যবহার করা হয় এবং **পটাশিয়াম আর্জেন্টো-সায়ানাইড** $K[Ag(CN)_2]$-কে তড়িদ্বিশ্লেষ্য পদার্থরূপে ব্যবহার করতে হবে। $Ag^+ + e \rightarrow Ag$.

(ii) নিকেলের প্রলেপ : নিকেলের প্রলেপ দিতে হলে **বিশুদ্ধ নিকেল ধাতুকে অ্যানোড-রূপে নিকেল সালফেট দ্রবণের সঙ্গে** সামান্য বোরিক অ্যাসিড মিশিয়ে সেই দ্রবণকে তড়িদ্বিশ্লেষ্য পদার্থরূপে ব্যবহার করা হয়।

(iii) টিনের প্রলেপ : টিনের প্রলেপ দিতে হলে **বিশুদ্ধ টিনকে অ্যানোড এবং স্ট্যানাস ক্লোরাইড দ্রবণকে তড়িদ্বিশ্লেষ্য পদার্থরূপে** ব্যবহার করা হয়।

(iv) সোনার প্রলেপ : সোনার প্রলেপ দেওয়ার জন্য **বিশুদ্ধ সোনাকে অ্যানোডরূপে এবং পটাশিয়াম অরোসায়ানাইড** $K[Au(CN)_2]$ দ্রবণকে তড়িদ্বিশ্লেষ্য পদার্থরূপে ব্যবহার করা হয়।

(v) তামার প্রলেপ : লোহার দ্রব্যে তামার প্রলেপ দিতে হলে, **তামার পাতকে অ্যানোড এবং লোহার দ্রব্যকে ক্যাথোডরূপে** ব্যবহার করা হয়। তড়িদ্বিশ্লেষ্য পদার্থরূপে কপারের জলে দ্রাব্য লবণ **কপার সালফেট** ব্যবহার করা হয়।

$CuSO_4 \rightleftharpoons Cu^{2+} + SO_4^{2-}$ ক্যাথোডে : $Cu^{2+} + 2e = Cu$

অনুশীলনী

1. (a) আয়রনের প্রধান আকরিকগুলির নাম সংকেত সহ লেখো।

(b) মারুত চুল্লিতে হেমাটাইট আকরিক থেকে লৌহ নিষ্কাশনে যে সকল রাসায়নিক বিক্রিয়া ঘটে তা সংক্ষেপে উল্লেখ করো। ***[H.S. '99, 2001]***

2. হেমাটাইট থেকে মারুত চুল্লির সাহায্যে কাস্ট আয়রন প্রস্তুতির বিষয় নিম্নলিখিত তথ্যগুলি পরিবেশন করো।

(i) পদ্ধতিতে ব্যবহৃত মুখ্য কাঁচামালগুলির নাম। **(ii)** প্রত্যেকটি কাঁচামালের ভূমিকা। **(iii)** ব্যবহৃত বায়ুর ভূমিকা। **(iv)** আয়রন নিষ্কাশনকারী বিক্রিয়াসমূহ। **(v)** নিষ্কাশিত লৌহের সংগ্রহ। **(vi)** দুটি উপজাত পদার্থের নাম ও ব্যবহার।

3. (a) বিসিমার পদ্ধতিতে কীভাবে কাস্ট আয়রন থেকে স্টিল প্রস্তুত করা হয়? **(b)** ওপেন হার্থ পদ্ধতিতে (সিমেন্ট-মার্টিন পদ্ধতি) স্টিল প্রস্তুতি সমীকরণ সহ বর্ণনা করো। **(ç)** ওপেন হার্থ পদ্ধতির সঙ্গে বিসিমার পদ্ধতির তুলনা করো।

4. নিম্নলিখিত পদার্থগুলির সঙ্গে আয়রনের বিক্রিয়া সমীকরণ সহ বিবৃত করো।

(i) বায়ু, অক্সিজেন, স্টিম। **(ii)** হাইড্রোক্লোরিক, নাইট্রিক এবং সালফিউরিক অ্যাসিড। **(iii)** কার্বন মনোক্সাইড। **(iv)** কপার সালফেট দ্রবণ।

5. লোহার নিষ্ক্রিয় অবস্থা বলতে কী বোঝ? নিষ্ক্রিয় লোহাকে আবার সাধারণ লোহায় কীভাবে রূপান্তরিত করবে? ***[H.S. '99]***

6. মরিচা কী? মরিচা পড়ার কারণ কী? মরিচা পড়া রোধ করা যায় কীভাবে?

7. টীকা লেখো ঃ অ্যালয় স্টিল, স্টিলের কোলাসায়ন, অ্যানোডাইজিং, ক্যালোরাইজিং, গ্যালভানাইজেশন।

8. (a) সন্ধিগত মৌল হিসাবে আয়রনের বৈশিষ্ট্যগুলি উল্লেখ করো।

(b) স্টিল কী? স্টিল উৎপাদনে বিসিমার পদ্ধতি বর্ণনা করো। অ্যাসিড বিসিমার পদ্ধতি এবং বেসিক বিসিমার পদ্ধতি কোন্ কোন্ ক্ষেত্রে প্রযোজ্য?

9. কাস্ট আয়রন প্রস্তুতিতে ব্লাস্ট ফার্নেসে চুনাপাথর যোগ করা হয় কেন? ব্লাস্ট ফার্নেসের শুষ্ক এবং উত্তপ্ত বায়ুপ্রবাহ চালনা করা হয়, আর্দ্র বায়ু চালনা করলে কী অসুবিধা হয়?

10. কারণসহ ব্যাখ্যা করো—

(i) আয়রন লঘু HNO_3-তে দ্রাব্য কিন্তু গাঢ় HNO-তে দ্রবীভূত হয় না। **(ii)** ফেরোসো ফেরিক অক্সাইড একটি মিশ্র অক্সাইড। **(iii)** কাস্ট আয়রন, বিশুদ্ধ আয়রন নয়। **(iv)** কাস্ট আয়রন প্রস্তুতিতে তাপ জারণের সময় FeO-কে Fe_2O_3-তে পরিণত করা হয়। **(v)** কাস্ট আয়রন প্রস্তুতিতে বিগলনের সময় চুনাপাথর যোগ করা হয়। **(vi)** কাস্ট আয়রন প্রস্তুতিতে বিগলনের আগে তাপজারণের প্রয়োজন আছে। **(vii)** লোহার আকরিকগুলির তাপ জারণের সময় উৎপন্ন FeO-কে Fe_2O_3-তে পরিণত করা হয় কেন। **(viii)** আকরিকগুলি সছিদ্র ও ঝাঁঝরাবিশিষ্ট না হলে কী অসুবিধা হত? **(ix)** মারুত চুল্লিতে বিশেষ করে শুষ্ক বায়ুপ্রবাহ চালনা করা হয়। **(x)** জিঙ্কের উপস্থিতিতে লোহার ক্ষয় হ্রাস পায়। **(xi)** বেসিক বিসিমার পদ্ধতিতে স্টিল উৎপাদনে বিসিমার কনভার্টারে ম্যাগনেশিয়ার লাইনিং দেওয়া হয়। **(xii)** টিনের আস্তরণ দেওয়া লোহার চেয়ে দস্তা লিপ্ত আয়রন বেশি টেকসই হয়। **(xiii)** আয়রন পাইরাইটিস থেকে আয়রন নিষ্কাশন করা হয় না।

11. কখন কী ঘটে সমীকরণ সহ উৎপন্ন পদার্থের নাম সহ লেখো ঃ

(i) ফেরিক অক্সাইড এবং ধাতব অ্যালুমিনিয়ামের মিশ্রণকে উচ্চ তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করা হল। **(ii)** কপার সালফেট দ্রবণে লৌহ চূর্ণ যোগ করা হল। **(iii)** কার্বনের সঙ্গে আয়রনকে উত্তপ্ত করা হল। **(iv)** লোহিত তপ্ত আয়রনের উপর স্টিম চালনা করা হল। **(v)** ফেরাস সালফেট দ্রবণ বায়ুতে খোলা অবস্থায় রাখা হল। **(vi)** ঘন HCl যুক্ত $FeCl_3$ দ্রবণে SO_2 চালনা করা হল। **(vii)** $NaNO_3$ ও $FeSO_4$-এর মিশ্র দ্রবণে ধীরে ধীরে গাঢ় H_2SO_4 ঢালা হল। **(viii)** $CuSO_4$ দ্রবণে একটি লোহার ছুরি ডোবানো হল। **(ix)** উত্তপ্ত আয়রন চূর্ণের উপর দিয়ে কার্বন মনোক্সাইড চালনা করা হল। **(x)** আয়রনের সঙ্গে লঘু HNO_3-এর বিক্রিয়া ঘটানো হল।

12. লৌহের আকরিককে ভস্মীকরণের ফলে, আকরিকের ফেরাস অক্সাইডকে ফেরিক অক্সাইডে পরিণত করা হল এবং এইভাবে লৌহের অপচয় বন্ধ হয়।—এই বিবৃতির যথার্থতা ব্যাখ্যা করো।

13. (a) লৌহ নিষ্কাশনে আকরিকের সঙ্গে চুনাপাথর যোগ করা হয় কেন? **(b)** ব্লাস্ট ফার্নেসে লোহার আকরিকের বিজারণে ব্যবহৃত বিজারক দ্রব্য কী কী? **(c)** Mg এবং Fe-এর মধ্যে কোনটি অধিক জারণ ক্ষমতা সম্পন্ন?

14. লোহা ও জিঙ্ক উভয় ধাতুই কার্বন বিজারণ পদ্ধতিতে নিষ্কাশন করা যায়। তাহলে ব্লাস্ট ফার্নেসে যেভাবে কাস্ট আয়রন নিষ্কাশন করা হয়, ব্লাস্ট ফার্নেসে ওই ভাবে জিঙ্ক নিষ্কাশন করা যাবে কী? ব্যাখ্যা করো।

15. ব্লাস্ট ফার্নেসে কাস্ট আয়রন উৎপাদনে যে ধাতুমল পাওয়া যায় তার উপাদান কী? এর ব্যবহার লেখো।

16. নীচের পরিবর্তনটি ঘটাবার জন্য বিক্রিয়াগুলির সমিত সমীকরণ লেখো—

$Fe_2O_3 \rightarrow Fe \rightarrow FeCl_2$ (অনার্দ্র) $\rightarrow Fe(OH)_2 \rightarrow Fe(OH)_3 \rightarrow Fe_2O_3$

[A] সংক্ষিপ্ত উত্তর ভিত্তিক প্রশ্ন ঃ

1. আয়রন পাইরাইটিস কী লোহার আকরিক? আয়রন পাইরাইটিস থেকে লোহা নিষ্কাশন করলে কী অসুবিধা হতো? **2.** ফসফরাস যুক্ত এবং ফসফরাস মুক্ত কাস্ট আয়রন থেকে স্টিল উৎপাদনের জন্য বিসিমার কনভার্টারে কী ব্যবস্থা নেওয়া হয়? **3.** বেসিক বিসিমার পদ্ধতিতে স্টিল উৎপন্নের সময় কাস্ট আয়রন থেকে কীভাবে ফসফরাসকে অপসারিত করা হয়? টমাস ধাতুমল কী?—এটি কী কাজে লাগে? **4.** বিসিমার এবং ওপেন হার্থ পদ্ধতির কোনটিতে **(a)** দ্রুত স্টিল উৎপন্ন হয়? **(b)** উচ্চ মানের স্টিল উৎপন্ন হয়? **(c)** জ্বালানির প্রয়োজন হয় না। **5.** স্টিল প্রস্তুতির শেষ পর্যায়ে স্টিলের সঙ্গে সামান্য Al বা ফেরোসিলিকন যোগ করা হয় কেন? **6.** পানদান কাকে বলে? এর প্রয়োজনীয়তা কী? **7.** একটি ফেরাইট লবণের উদাহরণ দাও। লবণটিতে আয়রনের জারণ সংখ্যা কত? **8.** স্টিল উৎপাদনে স্পাইজেলের ভূমিকা কী? **9.** রক্ত H_2S-এর সংস্পর্শে কালো হয়ে যায় কেন? [***Hints*** ঃ রক্তে Fe আছে যা H_2S-এর সংস্পর্শে কালো FeS-এ পরিণত হয়।] **10.** স্পাইজেল কী? এটি কখন ব্যবহার করা হয়? **11.** ইস্পাতের নাইট্রাইডিং কী? হাইস্পিড টুল ইস্পাত ও ক্রোম ইস্পাত কাকে বলে? **12.** মারুত চুল্লিতে লৌহ প্রস্তুতির উদ্দেশ্য হল Fe_2O_3-কে C দ্বারা বিজারণ—তাহলে সেক্ষেত্রে বায়ুপ্রবাহের ভূমিকা কী?

[C] নৈর্ব্যক্তিক প্রশ্ন ঃ

সঠিক উত্তর নির্বাচন করো—

(i) কাস্ট আয়রন নিষ্কাশনে ব্লাস্ট ফার্নেসে চুনাপাথর যোগ করা হলে Ca^{2+} আয়নের শেষ পরিণতি হয়—
(a) ধাতুমল উৎপন্নে, **(b)** খনিজমল উৎপন্নে, **(c)** Ca ধাতু উৎপন্নে, **(d)** ক্যালশিয়াম কার্বনেট উৎপন্নে। [***Ans.*** (a)]

(ii) ওপেন হার্থ পদ্ধতিতে স্টিল উৎপন্নে কাস্ট আয়রনে ফসফরাস অনুপস্থিত অথবা Mn অশুদ্ধি রূপে উপস্থিত থাকলে, চুল্লিবক্ষের আস্তরণ হওয়া উচিত—**(a)** চুনের, **(b)** MgO-এর, **(c)** চুন অথবা ম্যাগনেশিয়ার, **(d)** সিলিকার। [***Ans.*** (d)]

(iii) বিশুদ্ধতম আয়রনের নমুনা হল—
(a) সাদা কাস্ট আয়রন, **(b)** ধূসর কাস্ট আয়রন, **(c)** রট আয়রন, **(d)** স্টিল। [***Ans.*** (c)]

(iv) লোহার মরিচা ধরা দ্রুত হয় নীচের কোনটির দ্বারা?
(a) Fe, **(b)** O_2, **(c)** Zn, **(d)** CO_2. [***Ans.*** (d)]

(v) নীচের কোনটির সঙ্গে বিক্রিয়ায় আয়রন নিষ্ক্রিয় হয়?
(a) H_2SO_4, **(b)** H_3PO_4, **(c)** HCl, **(d)** HNO_3. [***Ans.*** (d)]

(vi) নীচের কোনটিতে কার্বনের পরিমাণ সর্বনিম্ন?
(a) স্টিল, **(b)** রট আয়রন, **(c)** কাস্ট আয়রন। [***Ans.*** (b)]

3  জৈব যৌগের রসায়ন (1) [Chemistry of Organic Compounds (1)]

সূচনা [Introduction]

বহু প্রাচীনকাল থেকেই মানুষ তার জীবনে ব্যবহৃত নিত্যপ্রয়োজনীয় দ্রব্যগুলি প্রাণী ও উদ্ভিদ থেকেই প্রত্যক্ষ বা পরোক্ষভাবে পেতো। বিজ্ঞানীরা তখন পর্যন্ত পরীক্ষাগারে ওই পদার্থগুলিকে কৃত্রিমভাবে তৈরি করতে না পারায়, বিজ্ঞানীদের মধ্যে একটা ধারণা তৈরি হয়েছিল যে এই জাতীয় যৌগগুলিকে **জীবিত কোশের কোনো অজ্ঞাত প্রাণশক্তির** সাহায্য ছাড়া প্রস্তুত করা সম্ভব নয়। জীবিত কোশের ক্রিয়ায় উৎপন্ন হয় বলে এই পদার্থগুলির নাম দেওয়া হয় **জৈব যৌগ**। 1828 খ্রিস্টাব্দে **বিজ্ঞানী ভোলহার অ্যামোনিয়াম সায়ানেট থেকে ইউরিয়া** তৈরি করে সর্বপ্রথম দেখান যে প্রাণশক্তির সাহায্য ছাড়াই পরীক্ষাগারে জৈব যৌগ প্রস্তুত করা হয়, কারণ ইউরিয়া একটি জৈব যৌগ।

$$\underset{\text{অ্যামোনিয়াম সায়ানেট}}{NH_4CNO} \longrightarrow \underset{\text{ইউরিয়া}}{CO(NH_2)_2}$$

এর পর বহু বিজ্ঞানী প্রাণশক্তির সাহায্য ছাড়াই পরীক্ষাগারে বহু জৈব যৌগ প্রস্তুত করেন। পরীক্ষা করে দেখা গেছে যে প্রতিটি জৈব যৌগে কার্বন থাকে। তাই বর্তমান বিজ্ঞানে জৈব এবং অজৈব যৌগের মধ্যে পার্থক্যের সঠিক সীমারেখা টানা সম্ভব নয়, তবে বলা যায়—**কার্বনের অক্সাইড, ধাতব কার্বনেট, বাইকার্বনেট, ধাতব সায়ানাইড এবং কার্বাইড ছাড়া, কার্বন দ্বারা গঠিত যে বিশাল সংখ্যক যৌগগুলির মধ্যে কার্বন পরমাণুর ক্যাটিনেশন ধর্ম, সমাবয়বতা ধর্ম প্রভৃতি বৈশিষ্ট্যগুলি দেখা যায়, সেই যৌগগুলিকে জৈব যৌগ বলা হয় এবং এই জাতীয় কার্বন যৌগের রসায়নকে জৈব রসায়ন বলা হয়।**

বিশাল সংখ্যক (10 লক্ষের বেশি) কার্বন যৌগ সম্বন্ধে রসায়নের যে শাখায় আলোচনা অনুশীলন করা হয় তাকে জৈব রসায়ন বলা হয়। জৈব যৌগে কার্বন ছাড়া H, O, N, S, হ্যালোজেন মৌলগুলি উপস্থিত থাকে। কোনো কোনো জৈব যৌগে P, As এবং কয়েকটি ধাতু যেমন Mg, Zn, Fe (হিমোগ্লোবিন) প্রভৃতি উপস্থিত থাকে।

3.1. কার্বন পরমাণু কতকগুলি বিশেষ ধর্মের অধিকারী [Unique nature of carbon atom]

কার্বন পরমাণুর মধ্যে কতকগুলি বিশেষ ধর্ম দেখা যায় যা অন্য পরমাণুর মধ্যে প্রায় দেখা যায় না। কার্বন পরমাণুর এই বিশেষ ধর্মগুলি থাকার জন্যই, অবশিষ্ট মৌলগুলি দ্বারা গঠিত অজৈব যৌগগুলির ধর্ম এবং জৈব যৌগের ধর্মের মধ্যে পার্থক্য দেখা যায়।

(1) কার্বন পরমাণুর ক্যাটিনেশন ধর্ম—যে বিশেষ ধর্মের জন্য কার্বন পরমাণুগুলি সমযোজী একবন্ধন, দ্বিবন্ধন বা ত্রিবন্ধন দ্বারা পরস্পর যুক্ত হয়ে সুস্থিত কার্বন-কার্বন শৃঙ্খল গঠন করে তাকে ক্যাটিনেশন ধর্ম বলে। এই ধর্মের জন্য পরমাণু পরস্পরের সাথে একবন্ধন (—), দ্বিবন্ধন (=) অথবা ত্রিবন্ধন (≡) দ্বারা যুক্ত হয়ে কার্বন পরমাণুর বড়ো শৃঙ্খল (মুক্ত বা বন্ধ) গঠন করতে পারে। এই ধর্মের সাহায্যে 1000 C পরমাণু পরস্পর যুক্ত হয়ে একই যৌগে অবস্থান করতে পারে। তাই দেখা যায়, জৈব যৌগগুলি, মাত্র কয়েকটি মৌল যেমন C, H, O, N, S, P, হ্যালোজেন এবং অল্প কয়েকটি ধাতু নিয়ে গঠিত হলেও জৈব যৌগের সংখ্যা দশ লক্ষেরও বেশি।

অন্যান্য সব মৌল দ্বারা গঠিত হলেও অজৈব যৌগের সংখ্যা এক লক্ষের বেশি নয়।

(2) সমাবয়বতা ধর্ম—একই আণবিক সংকেত দ্বারা অনেকগুলি বিভিন্ন ধর্মের জৈব যৌগগুলিকে প্রকাশ করা যায়। জৈব যৌগের এই বিশেষ ধর্মটিকে সমাবয়বতা ধর্ম (Isomerism) **বলা হয়।** যেমন $C_8H_{12}O_6$—এই সংকেত দ্বারা 66টি ভিন্নধর্মী যৌগের সংকেত প্রকাশ করা যায়। অজৈব যৌগের ক্ষেত্রে একটি আণবিক সংকেত দ্বারা একটি মাত্র যৌগকে প্রকাশ করা যায়।

(3) সমগোত্র শ্রেণি—বিভিন্ন কার্যকরী গ্রুপের উপস্থিতি অনুযায়ী অজস্র জৈব যৌগগুলিকে বিভিন্ন সমগোত্র শ্রেণির অন্তর্ভুক্ত করা সম্ভব হয়েছে, যেখানে এক একটি শ্রেণির অন্তর্ভুক্ত যৌগগুলির রাসায়নিক ধর্ম প্রায় একই রকম হয়। অজৈব যৌগে এইরকম কোনো কার্যকরী গ্রুপের উপস্থিতি দেখা যায় না—বিভিন্ন অজৈব যৌগের ধর্ম বিভিন্ন হয়।

(4) অণুর গঠনে জটিলতা—অনেক জৈব যৌগের অণুর গঠন খুবই জটিল প্রকৃতির হয়। এই অণুগুলির মধ্যে বহুসংখ্যক পরমাণু থাকে। যেমন স্টার্চের আণবিক সংকেত $C_{1200}H_{2000}O_{1000}$। অজৈব যৌগের অণুতে বেশি সংখ্যক পরমাণু থাকে না।

(5) বিক্রিয়ার বেগ— জৈব যৌগগুলি সমযোজী, তাই গলিত অবস্থায় বা জলে দ্রবীভূত অবস্থায় অণুগুলি আয়নিত হয় না

এবং তড়িৎ পরিবহন করে না। জৈব যৌগের অণুগুলি একক অবস্থায় থাকে বলে অণুগুলির মধ্যে রাসায়নিক বিক্রিয়া ধীর গতিতে ঘটে এবং বিক্রিয়াটি উভমুখী হয়।

অজৈব যৌগগুলি সমযোজী বা তড়িৎযোজী হতে পারে। তবে বেশির ভাগ তড়িৎযোজী হয়। তাই জলে দ্রবীভূত বা গলিত অবস্থায় অণুগুলি ভেঙ্গো আয়নে পরিণত হয় ফলে তড়িৎ পরিবহন করে। বিপরীত তড়িৎগ্রস্ত আয়ন রূপে থাকে বলে এই জাতীয় পদার্থের রাসায়নিক বিক্রিয়া দ্রুত গতিতে ঘটে।

(6) পলিমারিজেশন—একই যৌগের দুই বা ততোধিক অণু পরস্পর যুক্ত হয়ে সম্পূর্ণ পৃথক ধর্ম বিশিষ্ট ভিন্ন যৌগের বৃহৎ অণু গঠন করতে পারে। এই ঘটনাকে পলিমারিজেশন বলে। যেমন বহুসংখ্যক ইথিলিন অণু 0·1% O_2 এর উপস্থিতিতে 1200–2000 atm চাপে 200°C উষ্ণতায় পরস্পর যুক্ত হয়ে সম্পূর্ণ পৃথক ধর্মের কঠিন পলিথিনের অণু উৎপন্ন করে।

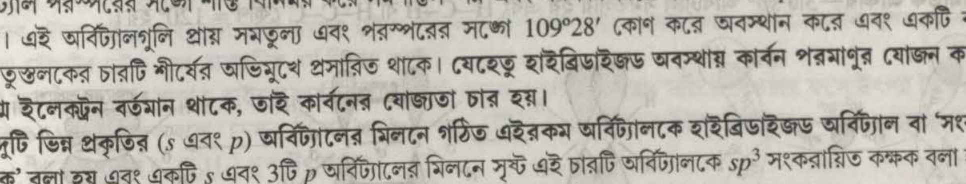
অজৈব যৌগের ক্ষেত্রে এই ধর্ম দেখা যায় না।

3.2. কার্বন পরমাণুর চতুর্যোজ্যতা [Tetra valency of Carbon]

কার্বন পরমাণুর স্থিতাবস্থায় কার্বন পরমাণুর যোজন কক্ষে মাত্র দুটি অযুগ্ম ইলেকট্রন থাকে $\boxed{1s^2 2s^2 2p_x^1 2p_y^1}$—1টি থাকে $2p_x$ অর্বিট্যালে অপরটি থাকে $2p_y$ অর্বিট্যালে। এই দুটি অযুগ্ম ইলেকট্রন অন্য পরমাণুর যোজন কক্ষের অযুগ্ম ইলেকট্রনের সাথে ইলেকট্রন জোড় গঠনের মাধ্যমে যুক্ত হতে পারে—অর্থাৎ যোজন কক্ষের ইলেকট্রন বিন্যাস অনুযায়ী C পরমাণুর দ্বিযোজী হওয়া উচিত। কিন্তু দেখা গেছে CH_2 (মিথিলিন), CCl_2 (ডাইক্লোরো কার্বিন) খুবই দুঃস্থিত। এই যৌগগুলিতে C পরমাণু দ্বি-যোজ্যতা দেখালেও C-এর প্রায় সব যৌগেই কার্বন চারটি যোজ্যতা দেখায়। এর কারণ সংকরায়ণ তত্ত্বের সাহায্যে ব্যাখ্যা করা যায়।

রাসায়নিক বিক্রিয়ার সময় শক্তি শোষণ করে C-পরমাণুর যোজক ইলেকট্রনগুলি উদ্দীপিত হয়। এর ফলে 2*s* অর্বিট্যালের একটি ইলেকট্রন এই শক্তির প্রভাবে বিচ্ছিন্ন হয়ে পরের উচ্চতর শক্তিসম্পন্ন উপকক্ষে উঠে যায়। এই অবস্থায় অযুগ্ম-ইলেকট্রন যুক্ত 4টি অর্বিট্যাল পরস্পরের সঙ্গো শক্তি বিনিময় করে সমশক্তিসম্পন্ন এবং সব দিক দিয়ে সমধর্মী 4টি sp^3 সংকরায়িত অর্বিট্যাল সৃষ্টি করে। এই অর্বিট্যালগুলি প্রায় সমতুল্য এবং পরস্পরের সঙ্গো 109°28′ কোণ করে অবস্থান করে এবং একটি কাল্পনিক সমচতুস্তলকের চারটি শীর্ষের অভিমুখে প্রসারিত থাকে। **যেহেতু হাইব্রিডাইজড অবস্থায় কার্বন পরমাণুর যোজন কক্ষে 4টি অযুগ্ম ইলেকট্রন বর্তমান থাকে, তাই কার্বনের যোজ্যতা চার হয়।**

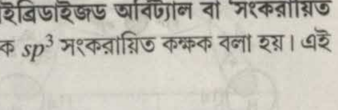
দুটি ভিন্ন প্রকৃতির (*s* এবং *p*) **অর্বিট্যালের মিলনে গঠিত এইরকম অর্বিট্যালকে হাইব্রিডাইজড অর্বিট্যাল বা 'সংকরায়িত কক্ষক' বলা হয়** এবং একটি *s* এবং 3টি *p* অর্বিট্যালের মিলনে সৃষ্ট এই চারটি অর্বিট্যালকে sp^3 সংকরায়িত কক্ষক বলা হয়। এই বই-এর প্রথম খণ্ডে এবিষয়ে বিশদ আলোচনা করা হয়েছে।

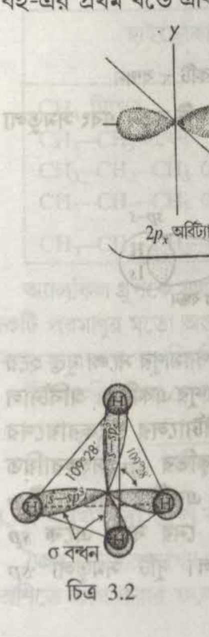


চিত্র 3.1

কার্বন পরমাণুর স্থিত অবস্থায় ইলেকট্রন-বিন্যাস →

কার্বন পরমাণুর উত্তেজিত অবস্থায় ইলেকট্রন-বিন্যাস →



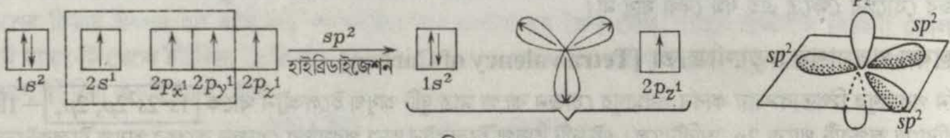


চিত্র 3.2

কার্বন পরমাণুর এই 4টি sp^3 হাইব্রিডাইজড অর্বিট্যালের সঙ্গো 4টি হাইড্রোজেন পরমাণুর 1*s* অর্বিট্যালের পৃথকভাবে অভিলেপনের ফলে 4টি (C–H) সিগমা (σ) বন্ধন উৎপন্ন হয় এবং মিথেন অণুর (CH_4) সৃষ্টি হয়। এর ফলে মিথেন অণুর চারটি বন্ধনের প্রকৃতি একরকম হয়।

sp^2 সংকরায়ণ ঃ কার্বন পরমাণুর $2s$ অর্বিট্যালের সঙ্গে তিনটি $2p$ অর্বিট্যালের (p_x, p_y অথবা p_z) যে-কোনো দুটির সংকরায়ণে তিনটি সমতুল্য এবং সমতলীয় sp^2 সংকরায়িত অর্বিট্যালের সৃষ্টি হয়। এই অবস্থায় C পরমাণুর একটি $2p$ অর্বিট্যাল, সংকরায়ণে অংশ নেয় না, তাই বিশুদ্ধ অবস্থায় থেকে যায়। এই তিনটি sp^2 সংকরায়িত অর্বিট্যাল একটি সমবাহু ত্রিভুজের কেন্দ্র থেকে তিনটি শীর্ষবিন্দুর দিকে প্রসারিত থাকে এবং ত্রিভুজটির কেন্দ্রে থাকে C পরমাণুর নিউক্লিয়াস অর্থাৎ তিনটি sp^2 হাইব্রিডাইজড অর্বিট্যাল একই সমতলে থাকে এবং পরস্পরের সঙ্গে 120° কোণ উৎপন্ন করে।

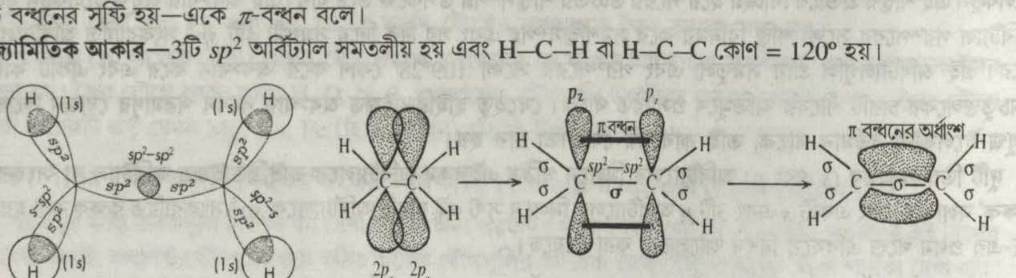
উদাহরণ ঃ ইথিলিন অণুতে প্রতিটি কার্বন পরমাণুর তিনটি sp^2 অর্বিট্যালের মধ্যে দুটি অর্বিট্যাল যথাক্রমে দুটি H পরমাণুর $1s$ অর্বিট্যালের সঙ্গে এবং তৃতীয়টি অপর কার্বন পরমাণুটির একটি sp^2 অর্বিট্যালের সঙ্গে অভিলিপ্ত হয়। এই অবস্থায় 2টি কার্বন পরমাণু এবং 4টি H পরমাণু একই তলে অবস্থান করে।



চিত্র 3.3

π-বন্ধন সৃষ্টি ঃ এইভাবে অভিলেপনের ফলে দুটি C পরমাণুর মধ্যে একটি sp^2—sp^2 সিগ্‌মা বন্ধন সৃষ্টি হওয়ার পরও প্রত্যেক কার্বন পরমাণুতে একটি করে বিশুদ্ধ p_z অর্বিট্যাল থেকে যায়। দুটি C পরমাণুর এই দুটি p_z অর্বিট্যাল, 2টি C এবং 4টি H পরমাণু যে তলে অবস্থান করে, সেই তলের উপর লম্বভাবে পরস্পরের সাথে সমান্তরাল অবস্থায় থাকে। এর ফলে p_z অর্বিট্যাল দুটির মধ্যে পাশাপাশি অভিলেপন ঘটে। ডাম্বেল আকৃতির p_z অর্বিট্যাল দুটির পাশাপাশি অভিলেপনে এই দুটি C পরমাণুর মধ্যে আর একটি বন্ধনের সৃষ্টি হয়—একে π-বন্ধন বলে।

জ্যামিতিক আকার—3টি sp^2 অর্বিট্যাল সমতলীয় হয় এবং H—C—H বা H—C—C কোণ = 120° হয়।

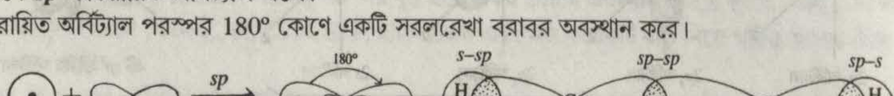


ইথিন অণুতে 5টি sp^2 σ বন্ধন

চিত্র 3.4 ঃ ইথিলিন অণুর কাঠামো—5টি σ বন্ধন ও একটি π বন্ধন

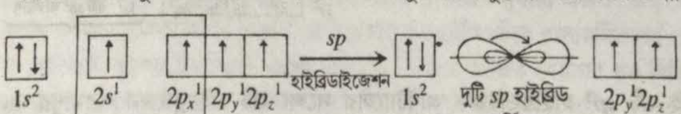
sp সংকরায়ণ ঃ একই মুখ্য স্তরের অন্তর্ভুক্ত একটি s এবং একটি p অর্বিট্যালের মিশ্রণে সৃষ্ট দুটি নতুন এবং সমতুল্য অর্বিট্যালকে sp সংকরায়িত অর্বিট্যাল বলে।

সংকরায়িত অর্বিট্যাল পরস্পর 180° কোণে একটি সরলরেখা বরাবর অবস্থান করে।



চিত্র 3.5 ঃ অ্যাসিটিলিন অণুর কাঠামো— 3টি σ বন্ধন

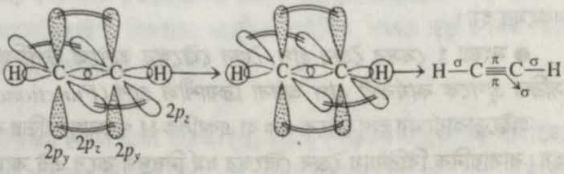
উদাহরণ ঃ অ্যাসিটিলিন অণুর দুটি C পরমাণু পরস্পরের সাথে এবং ওদের প্রত্যেকে একটি করে H পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত হয়ে অ্যাসিটিলিন অণু উৎপন্ন করে। এইভাবে পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত হওয়ার সময় উদ্দীপিত অবস্থায় কার্বন পরমাণুর **একটি $2s$ অর্বিট্যাল এবং একটি $2p$ অর্বিট্যালের সংকরায়ণের ফলে দুটি একই প্রকৃতির sp সংকরায়িত অর্বিট্যালের সৃষ্টি হয়। একটি s এবং একটি p অর্বিট্যাল এতে অংশ নেয় বলে একে sp হাইব্রিডাইজেশন বলে।** দুটি সমতুল্য sp হাইব্রিড অর্বিট্যাল পরস্পর 180° কোণে একটি সরলরেখায় দুই বিপরীত অভিমুখে অবস্থান করে।



চিত্র 3.6

অ্যাসিটিলিনে 2টি কার্বন পরমাণুর *sp* হাইব্রিড অর্বিট্যালের মুখোমুখি অভিলেপনের ফলে C—C সিগ্‌মা (σ) বন্ধনের সৃষ্টি হয় এবং উভয় কার্বন পরমাণুর প্রত্যেকের বাকি একটি *sp* হাইব্রিড অর্বিট্যালের সঙ্গে একটি করে হাইড্রোজেন পরমাণুর 1*s* অর্বিট্যালের অভিলেপন হয়, ফলে একটি করে মোট 2টি C—H সিগ্‌মা বন্ধনের সৃষ্টি হয়। এর ফলে দুটি C পরমাণু এবং দুটি H পরমাণু একই সরলরেখায় অবস্থান করে।

π-বন্ধন সৃষ্টি ঃ কার্বন পরমাণুর মধ্যে *sp* হাইব্রিডাইজেশনে যে দুটি 2*p* অর্বিট্যাল অংশ নেয়নি, তারা প্রত্যেকে অবিকৃত অবস্থায় *sp* হাইব্রিড অর্বিট্যালের সঙ্গে সমকোণে অবস্থান করে। 2টি C পরমাণুর দুটি $2p_y$ এবং দুটি $2p_z$ পরস্পরের সমান্তরাল থাকে বলে একটির $2p_y$-এর সঙ্গে অপরটির $2p_y$ এবং একটির $2p_z$-এর সঙ্গে অপরটির $2p_z$ অর্বিট্যালের পাশাপাশি অভিলেপনের ফলে দুটি কার্বন পরমাণুর মধ্যে দুটি পাই (π) বন্ধনের সৃষ্টি হয়।



চিত্র 3.7 ঃ অ্যাসিটিলিন অণুর মধ্যে 2টি π বন্ধন

3.3. জৈব মূলক বা গ্রুপ [Organic Radicals or groups]

বিভিন্ন হাইড্রোকার্বন থেকে এক বা একাধিক H পরমাণু আরও বিক্রিয়াশীল কোনো মৌল বা গ্রুপ দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে যৌগ গঠন করে বলে ধরা হয়। এইভাবে প্রতিস্থাপন দ্বারা গঠিত যৌগের মধ্যে হাইড্রোকার্বনের যে অংশ পড়ে থাকে, তাকেই জৈব মূলক বলে—অর্থাৎ

হাইড্রোকার্বনের এক বা একাধিক H পরমাণু অপসারিত হলে যে পরমাণু-পুঞ্জ পড়ে থাকে তাকেই জৈব মূলক বা গ্রুপ বলে। এই মূলক রাসায়নিক বিক্রিয়ায় সাধারণত অপরিবর্তিত থাকে এবং মূলকগুলি এককভাবে জৈব যৌগে অবস্থান করে। মূলকগুলির নাম, মূল হাইড্রোকার্বনের নাম অনুসারে হয়।

[জৈব যৌগে হাইড্রোকার্বনগুলি ছাড়া অন্যান্য যৌগে দুটি অংশ উপস্থিত থাকে—**জৈব মূলক** এবং **ক্রিয়াশীল মূলক** বা **কার্যকরী মূলক** যা যৌগটির ভৌত এবং রাসায়নিক ধর্ম নিয়ন্ত্রণ করে।]

(i) মুক্ত শৃঙ্খল এবং সম্পৃক্ত হাইড্রোকার্বন (অ্যালকেন) থেকে একটি H পরমাণু সরিয়ে দেওয়ার ফলে উৎপন্ন জৈব গ্রুপকে **অ্যালকিল** (Alkyl) মূলক বলে। যেমন, মিথেন (CH_4) থেকে 1টি H পরমাণু সরিয়ে নিলে **মিথাইল** ($-CH_3$), অনুরূপে ইথেন (C_2H_6) থেকে **ইথাইল** ($-C_2H_5$) গ্রুপ উৎপন্ন হয়।

নীচের ছকে কয়েকটি জৈব মূলকের নাম এবং উৎপত্তি দেখানো হল—

হাইড্রোকার্বন	প্রতিস্থাপিত H পরমাণুর সংখ্যা	জৈব গ্রুপের নাম এবং সংকেত	সংক্ষিপ্ত চিহ্ন
CH_4 মিথেন	1টি H পরমাণু	$\bullet CH_3$ মিথ + আইল = মিথাইল	Me
CH_3—CH_3 ইথেন	1টি H পরমাণু	$\bullet C_2H_5$ ইথ + আইল = ইথাইল	Et
CH_3—CH_2—CH_3 প্রোপেন	1টি H পরমাণু	$\bullet C_3H_7$ প্রোপ + আইল = প্রোপাইল	Pr
CH_3—CH_2—CH_3 প্রোপেন	1টি H পরমাণু	CH_3—$\dot{C}H$—CH_3 আইসো প্রোপাইল	i-Pr
CH_3—CH_2—CH_2—CH_3 বিউটেন	1টি H পরমাণু	$\bullet C_4H_9$ বিউট + আইল = বিউটাইল	Bu

অ্যালকিল গ্রুপকে সাধারণত R, R′ ইত্যাদি অক্ষর দ্বারা প্রকাশ করা হয়। জৈব গ্রুপগুলি রাসায়নিক বিক্রিয়ার সময় একক রূপে একটি পরমাণুর মতো অংশ গ্রহণ করে। জৈব যৌগের জৈব মূলকগুলি কম সক্রিয় এবং বেশি স্থায়ী। রাসায়নিক বিক্রিয়ায় জৈব মূলক সাধারণত অপরিবর্তিত থাকে।

নীচের বিক্রিয়ায় দেখা যায় জৈব গ্রুপটি (মিথাইল) বিভিন্ন বিক্রিয়ায় অপরিবর্তিত থাকে।

$$\underset{\text{মিথেন}}{CH_4} \xrightarrow[\text{বিক্ষিপ্ত সূর্যালোক}]{Cl_2} \underset{\text{মিথাইল ক্লোরাইড}}{\boxed{CH_3}Cl} \xrightarrow{KCN} \underset{\text{মিথাইল সায়ানাইড}}{\boxed{CH_3}CN} \xrightarrow[H^+]{H_2O} \underset{\text{অ্যাসিটিক অ্যাসিড}}{\boxed{CH_3}COOH}$$

3.4. কার্যকরী গ্রুপ বা ক্রিয়াশীল গ্রুপ [Functional Group]

জৈব যৌগের সংখ্যা দশ লক্ষের বেশি। এই অসংখ্য জৈব যৌগগুলিকে ওদের রাসায়নিক ধর্মের উপর ভিত্তি করে কতকগুলি শ্রেণিতে ভাগ করার ফলে দেখা গেছে যে, এইরকম প্রতিটি শ্রেণির যৌগগুলির মধ্যে এক-একটি বিশেষ গ্রুপ বর্তমান আছে।

এইরকম গ্রুপের উপস্থিতির জন্য একটি শ্রেণির সমস্ত যৌগের রাসায়নিক ধর্ম প্রায় একই রকম হয়—অর্থাৎ জৈব যৌগগুলির ধর্ম, যৌগগুলির মধ্যে অবস্থিত কার্যকরী গ্রুপেরই ধর্ম। এর ফলে সমস্ত জৈব যৌগকে বিভিন্ন সমগোত্রীয় শ্রেণিতে ভাগ করা সম্ভব হয়েছে। এক-একটি শ্রেণিতে একই ধরনের ধর্মবিশিষ্ট যৌগগুলিকে রাখা হয় যাদের সাধারণ প্রস্তুত প্রণালী মোটামুটি এক রকমের হয়।

● **সংজ্ঞা ঃ** ***যেসব জৈব গ্রুপ, জৈব যৌগের অণুতে উপস্থিত থেকে যৌগগুলির রাসায়নিক ধর্ম নিয়ন্ত্রণ করে সেইসব সক্রিয় গ্রুপকে কার্যকরী গ্রুপ অথবা ক্রিয়াশীল গ্রুপ (Functional groups) বলে।***

হাইড্রোকার্বনের অণু থেকে এক বা একাধিক H পরমাণু বিভিন্ন কার্যকরী গ্রুপ দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়েই বিভিন্ন জৈব যৌগ গঠিত হয়। **রাসায়নিক বিক্রিয়ায় জৈব যৌগের ধর্ম নিয়ন্ত্রণ করে এই কার্যকরী গ্রুপ। বেশির ভাগ বিক্রিয়ায় জৈব গ্রুপ অবিকৃত থাকে।** নীচে কয়েকটি কার্যকরী গ্রুপের সংকেত, নাম এবং কার্যকরী গ্রুপ দ্বারা গঠিত যৌগের শ্রেণির নাম দেওয়া হল।

যৌগের শ্রেণির নাম ও সংকেত	সাধারণ সংকেত	কার্যকরী গ্রুপের নাম ও সংকেত	যৌগের শ্রেণির নাম ও সংকেত	সাধারণ সংকেত	কার্যকরী গ্রুপের নাম ও সংকেত
(1) অ্যালকেন	C_nH_{2n+2}	—	**(8)** অ্যালকানোয়িক অ্যাসিড	RCOOH	$-\underset{\text{OH}}{\text{C}}=O$ কার্বক্সিল
(2) অ্যালকিন বা অলিফিন	C_nH_{2n}	—	**(9)** এস্টার	$RCOOR_1$	COOR কার্বো অ্যালকোক্সি
(3) অ্যালকাইন	C_nH_{2n-2}	—	**(10)** অ্যামিনো অ্যালকেন	$R-NH_2$	$-NH_2$ অ্যামিনো
(4) অ্যালকোহল	$C_nH_{2n+1}OH$	OH হাইড্রক্সিল	**(11)** অ্যাসিড অ্যামাইড	$RCONH_2$	$-CONH_2$ অ্যামিডো
(5) ইথার	R–O–R	–O– অ্যালকক্সি	**(12)** অ্যালকানোয়িক হ্যালাইড	RCOX	–COX অ্যাসিড হ্যালাইড
(6) অ্যালডিহাইড	RCHO	CHO অ্যালডিহাইড	**(13)** অ্যালকিন নাইট্রাইল	$R-C\equiv N$	$C\equiv N$ সায়ানো
(7) কিটোন	$RCOR_1$	C=O কার্বনিল	**(14)** হ্যালো অ্যালকেন	R—X	—X হ্যালাইড

(i) জৈব যৌগের রাসায়নিক বিক্রিয়ার জৈব মূলক সাধারণত অবিকৃত থাকে; কার্যকরী গ্রুপটি বিক্রিয়ায় প্রধান অংশ নেয়, নীচের বিক্রিয়ায় স্পষ্ট বোঝা যায়—

$$\underset{\text{ইথানল}}{CH_3CH_2\boxed{OH}} \xrightarrow[\text{জারণ}]{[O]} \underset{\text{ইথান্যাল}}{CH_3\boxed{CHO}} \xrightarrow[\text{জারণ}]{[O]} \underset{\text{ইথানোয়িক অ্যাসিড}}{CH_3\boxed{COOH}} \xrightarrow{PCl_5} \underset{\text{ইথানোয়িল ক্লোরাইড}}{CH_3\boxed{COCl}} \xrightarrow{NH_3} \underset{\text{ইথানামাইড}}{CH_3\boxed{CONH_2}}$$

(ii) যেসব যৌগে **—OH** কার্যকরী মূলক থাকে, তারা অ্যালকোহল শ্রেণির যৌগ। সুতরাং সমস্ত অ্যালকোহলের মধ্যে —OH থাকবেই এবং এই গ্রুপ থাকার জন্য ওদের রাসায়নিক ধর্ম একরকম হবে। যেমন, প্রাইমারি অ্যালকোহলের সঙ্গে **(a)** Na-এর বিক্রিয়ায় H_2 নির্গত হয়, **(b)** জারণের ফলে অ্যাসিট্যালডিহাইড উৎপন্ন হয়।

$$\underset{\text{মিথানল}}{2CH_3OH} + 2Na \longrightarrow 2CH_3ONa + H_2\uparrow \; ; \; \underset{\text{ইথানল}}{2C_2H_5OH} + 2Na \longrightarrow 2C_2H_5ONa + H_2\uparrow$$

$$\underset{\text{মিথানল}}{CH_3OH} \xrightarrow[\text{জারণ}]{[O]} \underset{\text{মিথান্যাল}}{HCHO} \quad ; \quad \underset{\text{ইথানল}}{C_2H_5OH} \xrightarrow[\text{জারণ}]{[O]} \underset{\text{ইথান্যাল}}{CH_3CHO}$$

3.5. সমগণীয় শ্রেণি বা সমগোত্র শ্রেণি [Homologous series]

জৈব যৌগ অসংখ্য, কিন্তু এই বিপুল সংখ্যক জৈব যৌগগুলিকে এমন এক-একটি শ্রেণিতে ভাগ করা হয়েছে যাদের উপাদান এবং রাসায়নিক ধর্ম একরকম হয়।

● সংজ্ঞা ঃ *একই সাধারণ আণবিক সংকেতবিশিষ্ট এবং একই কার্যকরী গ্রুপ যুক্ত এবং পরপর অবস্থিত যে-কোনো দুটি যৌগের আণবিক সংকেতে [CH_2]-এর পার্থক্যবিশিষ্ট একই ধর্মের ভিন্ন ভিন্ন যৌগের শ্রেণিকে সমগণীয় বা সমগোত্র শ্রেণি (Homologous series) বলে। একই শ্রেণির অন্তর্ভুক্ত সমস্ত যৌগকে সমগোত্র বা সমগণ (Homologous) বলা হয়।*

বিভিন্ন জৈব যৌগগুলিকে **হাইড্রোকার্বন, আলকোহল, অ্যালডিহাইড, কিটোন, অ্যাসিড, অ্যামিন, ইথার** প্রভৃতি ভিন্ন ভিন্ন সমগোত্র শ্রেণিতে ভাগ করা হয়েছে, ফলে জৈব রসায়ন পাঠ অনেক সহজ হয়েছে।

বিভিন্ন সমগোত্রে নীচের বৈশিষ্ট্যগুলি থাকে ঃ

(i) একই সমগোত্র শ্রেণির অন্তর্ভুক্ত সমস্ত যৌগগুলি একইরকম মৌল দ্বারা গঠিত। (ii) একটি সাধারণ সংকেতের সাহায্যে একটি সমগোত্র শ্রেণির অন্তর্ভুক্ত প্রত্যেকটি যৌগের আণবিক সংকেত প্রকাশ করা যায়। (iii) কোনো সমগোত্র শ্রেণির মধ্যে পরপর অবস্থিত যে-কোনো দুটি যৌগের মধ্যে আণবিক সংকেতের পার্থক্য হবে CH_2। **(iv)** শ্রেণির অন্তর্ভুক্ত **সমস্ত যৌগের রাসায়নিক ধর্ম একরকম হয়,** আণবিক গুরুত্ব বাড়ার সঙ্গে সঙ্গে রাসায়নিক সক্রিয়তা কমে যায়। **(v)** আণবিক গুরুত্ব বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে যৌগগুলির **ঘনত্ব, গলনাঙ্ক, স্ফুটনাঙ্ক বৃদ্ধি পায়, কিন্তু দ্রাব্যতা এবং উদ্‌বায়ী ধর্ম হ্রাস পায়। (vi) একই রকম রাসায়নিক প্রক্রিয়ায় একটি সমগোত্র শ্রেণির প্রতিটি যৌগকে প্রস্তুত করা যায়। (vii)** এক-একটি সমগোত্র শ্রেণির অন্তর্ভুক্ত **প্রতিটি যৌগে একই কার্যকরী মূলক বর্তমান থাকে। তাই কার্যকরী মূলকের ওপরই ওই শ্রেণির সাধারণ রাসায়নিক ধর্ম নির্ভর করে।**

সমগোত্র শ্রেণির গুরুত্ব হল এই যে যদি কোনো একটি সমগোত্র শ্রেণির অন্তর্ভুক্ত কোনো একটি জৈব যৌগের প্রস্তুত প্রণালী এবং সাধারণ ধর্ম জানা থাকে তবে ওই শ্রেণির অন্তর্ভুক্ত প্রত্যেকটি যৌগের প্রস্তুত প্রণালী এবং ধর্ম জানা যায়। তবে সমগোত্র শ্রেণির প্রথম যৌগটি অনেক সময় ওই শ্রেণির অন্তর্ভুক্ত অন্যান্য যৌগগুলির থেকে প্রস্তুতিতে এবং ধর্মে পৃথক হয়।

নীচে বিভিন্ন সমগোত্র শ্রেণির নাম এবং ওদের অন্তর্ভুক্ত কতকগুলি যৌগের নাম ও গঠন সংকেত দেওয়া হল ঃ

অ্যালকেন C_nH_{2n+2}	অ্যালকিন C_nH_{2n}	অ্যালকাইন C_nH_{2n-2}	অ্যালকোহল $C_nH_{2n+1}OH$	অ্যালডিহাইড $C_nH_{2n+1}CHO$
(1) মিথেন (CH_4)	ইথিন (C_2H_4)	ইথাইন (C_2H_2)	মিথানল (CH_3OH)	মিথান্যাল (HCHO)
(2) ইথেন (C_2H_6)	প্রোপিন (C_3H_6)	প্রোপাইন (C_3H_4)	ইথানল (C_2H_5OH)	ইথান্যাল (CH_3CHO)
(3) প্রোপেন (C_3H_8)	বিউটিন (C_4H_8)	বিউটাইন (C_4H_6)	প্রোপানল (C_3H_7OH)	প্রোপান্যাল (C_2H_3CHO)
(4) বিউটেন (C_4H_{10})	পেন্টিন (C_5H_{10})	পেন্টাইন (C_5H_8)	বিউটানল (C_4H_9OH)	বিউটান্যাল (C_3H_7CHO)
(5) পেন্টেন (C_5H_{12})				

কিটোন $R–COR_1$	কার্বক্সিলিক অ্যাসিড RCOOH	ইথার R–O–R′	অ্যাসিড অ্যামাইড $RCONH_2$	এস্টার $RCOOR_1$
(6) অ্যাসিটোন CH_3COCH_3	ফর্মিক অ্যাসিড HCHOOH	ডাই মিথাইল ইথার $CH_3–O–CH_3$	ইথানামাইড CH_3CONH_2	মিথাইল ফর্মেট $HCOOCH_3$
(7) মিথাইল ইথাইল কিটোন $CH_3COC_2H_5$	অ্যাসিটিক অ্যাসিড CH_3COOH	মিথাইল ইথাইল ইথার $CH_3–O–C_2H_5$	প্রোপানামাইড $C_2H_5CONH_3$	মিথাইল অ্যাসিটেট CH_3COOCH_3
(8) ডাই ইথাইল কিটোন $C_2H_5COC_2H_5$	প্রোপানোয়িক অ্যাসিড C_2H_5COOH	ডাই ইথাইল ইথার $C_2H_5–O–C_2H_5$		ইথাইল অ্যাসিটেট $CH_3COOC_2H_5$

3.6. জৈব যৌগের শ্রেণিবিভাগ [Classification of organic compounds]

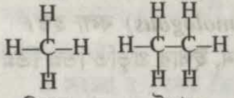
বিভিন্ন জৈব যৌগের ধর্ম, আণবিক গঠন এবং যৌগে অবস্থিত কার্যকরী মূলকের ওপর ভিত্তি করে অসংখ্য জৈব যৌগকে কয়েকটি শ্রেণিতে ভাগ করা হয়েছে। এখানে কয়েকটি প্রধান শ্রেণির বিষয়ে সংক্ষেপে বলা হল।

(1) হাইড্রোকার্বন (Hydrocarbons) **ঃ**

কার্বন এবং হাইড্রোকার্বন দ্বারা গঠিত দ্বি-যৌগকে হাইড্রোকার্বন বলে। হাইড্রোকার্বন দুই রকম—**(A) সম্পৃক্ত হাইড্রোকার্বন** (Saturated hydrocarbon) ও **(B) অসম্পৃক্ত হাইড্রোকার্বন** (Unsaturated)।

(A) সম্পৃক্ত হাইড্রোকার্বন বা অ্যালকেন ঃ *যে হাইড্রোকার্বনের অণুর গঠনে, কার্বন পরমাণুগুলি পরস্পরের সঙ্গে*

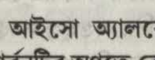
এক-বন্ধন দ্বারা যুক্ত থাকে এবং কার্বন পরমাণুগুলির অবশিষ্ট যোজ্যতা হাইড্রোজেন পরমাণুর সাথে যুক্ত থাকে, সেই হাইড্রোকার্বনকে সম্পৃক্ত হাইড্রোকার্বন বলে।


মিথেন ইথেন

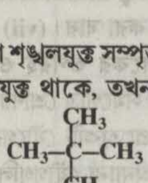
এই জাতীয় হাইড্রোকার্বনে C এবং H পরমাণুগুলি পরস্পরের সঙ্গো সমযোজী সিগ্‌মা σ-বন্ধন দ্বারা আবদ্ধ থাকে। এই জাতীয় হাইড্রোকার্বনকে অ্যালকেন বা প্যারাফিন বলা হয়। এই জাতীয় যৌগের সাধারণ সংকেত (C_nH_{2n+2})।

(i) নর্ম্যাল অ্যালকেন (Normal Alkane) **:** যখন কার্বন পরমাণুগুলি পরস্পরের সঙ্গো এক বন্ধন দ্বারা যুক্ত হয়ে সরল শৃঙ্খল গঠন করে, তখন সেই সম্পৃক্ত হাইড্রোকার্বনকে নর্ম্যাল (normal) অ্যালকেন বা **'n' অ্যালকেন বলে**। যেমন—

$$CH_3—CH_2—CH_2—CH_3$$ (নর্ম্যাল বিউটেন)

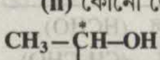
(ii) আইসো অ্যালকেন (Iso alkane) **: যখন সম্পৃক্ত হাইড্রোকার্বনে একটি শাখা শৃঙ্খল থাকে,** অর্থাৎ **যখন হাইড্রোকার্বনটির অণুতে কোনো C পরমাণু অপর তিনটি C পরমাণুর সঙ্গো যুক্ত থাকে, তখন তাকে আইসো** (iso) **অ্যালকেন বলে।** যেমন—  (আইসো বিউটেন)

(iii) নিও অ্যালকেন (Neo alkane) **: দুটি শাখা শৃঙ্খলযুক্ত সম্পৃক্ত হাইড্রোকার্বনকে, অর্থাৎ যখন হাইড্রোকার্বনটির অণুতে কোনো C পরমাণু অপর 4টি C পরমাণুর সঙ্গো যুক্ত থাকে, তখন তাকে নিয়ো** (neo) **অ্যালকেন বলে।** যেমন—

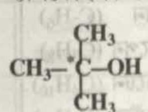

(নিয়ো পেন্টেন)

(i) জৈব যৌগের অণুতে যখন কোনো C-পরমাণু, অপর 1টি C-পরমাণুর সঙ্গো যুক্ত থাকে, সেই C-পরমাণুকে **প্রাইমারি কার্বন পরমাণু বা 1° কার্বন পরমাণু** (Primary carbon atom) বলে। যেমন, ইথাইল অ্যালকোহল **CH_3—*CH_2—OH এই যৌগে (*C)** পরমাণুটি হল প্রাইমারি কার্বন পরমাণু বা 1° কার্বন পরমাণু।

(ii) কোনো জৈব যৌগের অণুর মধ্যে যখন কোনো C পরমাণু অপর 2টি C-পরমাণুর সঙ্গো যুক্ত থাকে তাকে **সেকেন্ডারি কার্বন পরমাণু বা 2° কার্বন পরমাণু বলে।** যেমন—সেকেন্ডারি আইসোপ্রোপাইল অ্যালকোহল। এই যৌগে (*C) পরমাণুটি হল সেকেন্ডারি কার্বন পরমাণু।

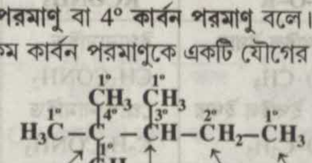

সে. আইসো প্রোপাইল অ্যালকোহল

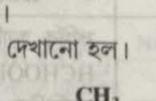
(iii) কোনো জৈব যৌগের অণুর মধ্যে যখন কোনো C পরমাণু অপর 3টি C-পরমাণুর সঙ্গো যুক্ত থাকে, তাকে **টার্সিয়ারি** (Tertiary) **কার্বন** পরমাণু বা **3° কার্বন পরমাণু** বলে। যেমন, টার্সিয়ারি বিউটাইল অ্যালকোহল। এই যৌগে (*C) পরমাণুটি হল টার্সিয়ারি কার্বন পরমাণু অর্থাৎ 3° কার্বন পরমাণু।


টার্সিয়ারি বিউটাইল অ্যালকোহল

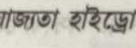
(iv) কোনো জৈব যৌগের অণুর মধ্যে কোনো C-পরমাণু অপর 4টি C পরমাণুর সঙ্গো যুক্ত থাকলে তাকে ***কোয়াটারনারি* কার্বন** (Quarternary) **পরমাণু বা 4° কার্বন পরমাণু** বলে। যেমন—নিও পেন্টেন।

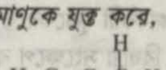
উপরি বর্ণিত চার রকম কার্বন পরমাণুকে একটি যৌগের মধ্যে নীচে গঠন চিত্রে দেখানো হল।




নিও পেন্টেন

(B) অসম্পৃক্ত হাইড্রোকার্বন (Unsaturated hydrocarbon) **:** *যে মুক্ত শৃঙ্খল হাইড্রোকার্বনের অণুতে পর পর অবস্থিত দুটি কার্বন পরমাণু পরস্পর দ্বি-বন্ধন (Double bond) বা ত্রি-বন্ধন (Triple bond) দ্বারা যুক্ত থাকে এবং কার্বন পরমাণুগুলির অবশিষ্ট যোজ্যতা হাইড্রোজেন পরমাণুকে যুক্ত করে, সেই হাইড্রোকার্বনকে অসম্পৃক্ত হাইড্রোকার্বন বলে।* যেমন,


ইথিলিন


প্রোপিলিন

H–C≡C–H
অ্যাসিটিলিন

CH≡C–CH_3
মিথাইল অ্যাসিটিলিন

দ্বি-বন্ধনযুক্ত হাইড্রোকার্বনকে অলিফিন (Olefines) **বা অ্যালকিন** (Alkenes) **বলে। অ্যালকিনের সাধারণ সংকেত হল** **(C_nH_{2n})।**

ত্রি-বন্ধনযুক্ত অসম্পৃক্ত হাইড্রোকার্বনকে অ্যালকাইন (Alkynes) বলে। এই জাতীয় হাইড্রোকার্বনের দুটি C পরমাণু পরস্পরের সঙ্গো ত্রি-বন্ধন দ্বারা যুক্ত থাকে, এদের সাধারণ সংকেত (C_nH_{2n-2})।

(2) অ্যালকোহল (Alcohols) ঃ

হাইড্রোকার্বন অণুর এক বা একাধিক হাইড্রোজেন পরমাণু (—OH) গ্রুপ দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে যে যৌগ গঠন করে, তাকে অ্যালকোহল বলে। অ্যালকোহলের কার্যকরী গ্রুপ হল [—OH]।

যেসব মুক্ত শৃঙ্খল জৈব যৌগে (—OH) গ্রুপ থাকে, তাদের অ্যালকোহল শ্রেণির যৌগ বলে। এদের সাধারণ সংকেত হল—[$C_nH_{2n+1}OH$]।

CH_3—OH (মিথাইল অ্যালকোহল) ; CH_3—CH_2—OH (ইথাইল অ্যালকোহল)।

(3) ইথার (Ether) ঃ

একটি অক্সিজেন পরমাণুর সঙ্গো দুটি অ্যালকিল (Alkyl) গ্রুপ যুক্ত হয়ে যে যৌগ উৎপন্ন হয়, তাকে ইথার বলে। যেমন, CH_3—O—CH_3 (ডাই-মিথাইল ইথার), CH_3—O—C_2H_5 (মিথাইল ইথাইল ইথার)। এই যৌগের কার্যকরী গ্রুপ হল [—O—]।

(i) এখন [—O—]-এর সঙ্গো যুক্ত অ্যালকিল গ্রুপ দুটি একই হলে (R—O—R) সেই ইথারকে সরল ইথার বলে। যেমন,

CH_3—O—CH_3 (ডাই-মিথাইল ইথার) C_2H_5—O—C_2H_5 (ডাই-ইথাইল ইথার)

(ii) [—O—]-এর সঙ্গো যুক্ত দুটি অ্যালকিল গ্রুপ ভিন্ন হলে সেই ইথারকে মিশ্র ইথার বলে। যেমন,

CH_3—O—C_2H_5 (মিথাইল ইথাইল ইথার)

(4) কার্বনিল যৌগ (Carbonyl compounds) ঃ

যে জৈব যৌগে কার্বনিল গ্রুপ (>C=O) কার্যকরী গ্রুপ রূপে বর্তমান থাকে, তাকে কার্বনিল যৌগ বলে। অ্যালডিহাইড এবং কিটোন হল এই জাতীয় যৌগ।

(i) অ্যালডিহাইড (Aldehydes) ঃ কার্বনিল গ্রুপ কার্বন পরমাণুর দুটি H পরমাণু, অথবা একটি H পরমাণু এবং একটি অ্যালকিল গ্রুপ যুক্ত হয়ে যে যৌগ গঠিত হয় সেই যৌগকে অ্যালডিহাইড বলে।

অ্যালডিহাইডের কার্যকরী মূলক (—C(H)=O)। অ্যালডিহাইডের সাধারণ সংকেত হল—[$C_nH_{2n+1}CHO$]

যেমন, ফর্ম্যালডিহাইড H—C(H)=O অ্যাসিট্যালডিহাইড CH_3—C(H)=O

(ii) কিটোন (Ketone) ঃ কার্বনিল গ্রুপ C পরমাণুটির সঙ্গো দুটি অ্যালকিল গ্রুপ যুক্ত হয়ে যে যৌগ উৎপন্ন হয়, তাকে কিটোন বলে। এই শ্রেণির কার্যকরী গ্রুপ হল >C=O। এই জাতীয় যৌগের সাধারণ সংকেত হল, R—C(R)=O (R = অ্যালকিল গ্রুপ) যেমন, CH_3—C(CH_3)=O (অ্যাসিটোন)।

(a) কিটোন যৌগে কার্বনিল গ্রুপের সঙ্গো যুক্ত দুটি অ্যালকিল গ্রুপ যদি একই হয়, তবে ওই কিটোনকে **সরল কিটোন** বলে।

(b) কার্বনিল গ্রুপের সঙ্গো যুক্ত অ্যালকিল মূলক দুটি যদি ভিন্ন হয়, তবে ওই কিটোনকে **মিশ্র কিটোন** বলে।

CH_3—C(CH_3)=O (ডাই-মিথাইল কিটোন (সরল)) CH_3—C(C_2H_5)=O (মিথাইল ইথাইল কিটোন (মিশ্র))

(5) কার্বক্সিলিক অ্যাসিড যৌগ (Carboxylic Acid) ঃ

যে জৈব যৌগে কার্যকরী গ্রুপ হিসাবে [—C(OH)=O] মূলক উপস্থিত থাকে, তাকে কার্বক্সিলিক অ্যাসিড বলে।

এদের সাধারণ সংকেত হল [$C_nH_{2n+1}COOH$]। যেমন, CH_3COOH (অ্যাসিটিক অ্যাসিড)।

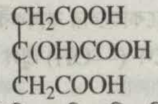
[—COOH গ্রুপের সঙ্গো অ্যালকিল গ্রুপের পরিবর্তে H পরমাণু যুক্ত হলে সেই কার্বক্সিলিক অ্যাসিডের নাম ফর্মিক অ্যাসিড। H—COOH]

(i) যেসব জৈব অ্যাসিডের মধ্যে 1টি [—COOH] কার্যকরী গ্রুপ থাকে তাদের মনোকার্বক্সিলিক অ্যাসিড বলে। যেমন, HCOOH, CH_3COOH ইত্যাদি অ্যাসিডগুলি এক ক্ষারীয় অ্যাসিড।

(ii) যেসব জৈব অ্যাসিডের অণুতে 2টি [—COOH] গ্রুপ থাকে তাদের ডাই-কার্বক্সিলিক অ্যাসিড এবং তিনটি [—COOH] গ্রুপ উপস্থিত থাকলে তাকে ট্রাই-কার্বক্সিলিক অ্যাসিড বলে। যেমন,



অক্সালিক অ্যাসিড (দ্বিক্ষারিক)



সাইট্রিক অ্যাসিড (ত্রিক্ষারিক)

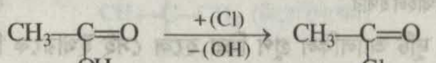
● কার্বক্সিলিক অ্যাসিড থেকে উৎপন্ন কয়েকটি যৌগের শ্রেণি ঃ

(a) এস্টার ঃ জৈব অ্যাসিডের কার্বক্সিল গ্রুপের [—COOH] H-হাইড্রোজেন পরমাণু অ্যালকিল গ্রুপ দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে যে যৌগ উৎপন্ন করে, তাকে এস্টার বলে। এদের কার্যকরী গ্রুপকে **কার্বো-অ্যালকোক্সি গ্রুপ** বলে।

$CH_3COOC_2H_5$ — ইথাইল অ্যাসিটেট

CH_3COOCH_3 — মিথাইল অ্যাসিটেট

(b) অ্যাসিড ক্লোরাইড ঃ জৈব অ্যাসিডের [—COOH] গ্রুপের (OH) অংশটি একটি Cl পরমাণু দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে যে যৌগ উৎপন্ন করে, তাকে অ্যাসিড ক্লোরাইড বলে। যেমন,



অ্যাসিটিক অ্যাসিড → অ্যাসিটাইল ক্লোরাইড

[CH_3CO—] গ্রুপকে **কিটো-মিথাইল গ্রুপ** বলে। এই মূলকটিকে **অ্যাসিটাইল** গ্রুপও বলা হয়।

(c) অ্যাসিড অ্যামাইড (Acid Amides) ঃ জৈব অ্যাসিডের [—COOH] গ্রুপের (OH) অংশটি [—NH_2] গ্রুপ দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে যে যৌগ উৎপন্ন হয়, তাকে অ্যাসিড অ্যামাইড বলে। এর কার্যকরী মূলককে অ্যামিডো (Amido) গ্রুপ [—$CONH_2$] বলে। যেমন, **অ্যাসিটামাইড** CH_3CONH_2)।

(6) অ্যামিন যৌগ ঃ হাইড্রোকার্বনের এক বা একাধিক H পরমাণু [—NH_2] গ্রুপ দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে যে যৌগ উৎপন্ন করে, তাকে অ্যামিন বলে। এই জাতীয় যৌগে **কার্যকরী গ্রুপ রূপে [—NH_2] বর্তমান থাকে।**

যেমন, মিথাইল অ্যামিন (CH_3NH_2), ইথাইল অ্যামিন ($C_2H_5NH_2$)।

3.7. মুক্তশৃঙ্খল জৈব যৌগগুলির নামকরণ পদ্ধতি [Nomenclature of open chain organic compounds]

(1) মুক্ত শৃঙ্খল সম্পৃক্ত হাইড্রোকার্বনের (প্যারাফিন) সাধারণ নামকরণ পদ্ধতি (Trivial system) ঃ

সংকেত	নাম
CH_4	মিথেন
C_2H_6	ইথেন
C_3H_8	প্রোপেন
C_4H_{10}	বিউটেন
C_5H_{12}	পেন্টেন

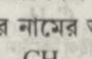
এই গোত্রের প্রথম 4টি যৌগ বহুদিন থেকে চলে আসা বিশেষ নামে পরিচিত। 5 এবং 5-এর বেশি সংখ্যক কার্বন পরমাণুবিশিষ্ট যৌগগুলির ক্ষেত্রে কার্বন-সংখ্যা প্রকাশ করার জন্য গ্রিক বা ল্যাটিন সংখ্যা অনুযায়ী শব্দ ব্যবহার করা যায়। সব যৌগের নামের শেষে **'এন'** (ane) শব্দটি থাকে।

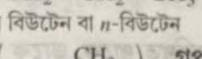
চার বা তার বেশি সংখ্যক কার্বন পরমাণুবিশিষ্ট সম্পৃক্ত হাইড্রোকার্বনের একই আণবিক সংকেতবিশিষ্ট অথচ ভিন্ন গঠনের দুই বা ততোধিক যৌগ থাকে (আইসোমার)। যৌগগুলির নামের আগে বিভিন্ন শব্দ যোগ করে ওদের মধ্যে পার্থক্য প্রকাশ করা হয়। যেমন—

(i) সরল শৃঙ্খলবিশিষ্ট যৌগগুলির নামের আগে 'নর্ম্যাল' (*n*) শব্দটি বসাতে হয়। যেমন,

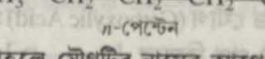
$CH_3—CH_2—CH_2—CH_3$ — নরমাল বিউটেন বা *n*-বিউটেন

$CH_3—CH_2—CH_2—CH_2—CH_3$ — *n*-পেন্টেন

(ii) যদি শৃঙ্খলটির মধ্যে  **গ্রুপ থাকে তাহলে যৌগটির নামের আগে 'আইসো' (iso) শব্দটি যোগ করতে হয়। যেমন,**



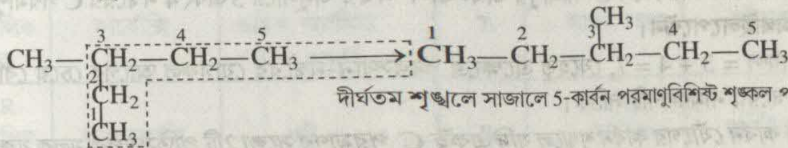
আইসো বিউটেন



আইসো পেন্টেন

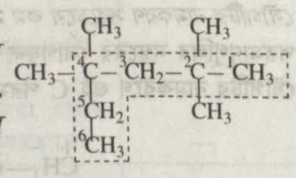
(2) I.U.P.A.C. (ইউপ্যাক) পদ্ধতিতে অ্যালিফ্যাটিক জৈব যৌগের নামকরণের সাধারণ নিয়ম ঃ

(1) নিয়ম 1—দীর্ঘতম কার্বন-শৃঙ্খল নিয়ম ঃ *কোনো অ্যালিফ্যাটিক যৌগের নামকরণের সময় প্রথমে ওই যৌগের গঠন সংকেতের মধ্যে শাখা যুক্ত শৃঙ্খল বা কার্যকরী গ্রুপ সহ **দীর্ঘতম শৃঙ্খলটি** নির্ণয় করো।* মনে রাখবে, দীর্ঘতম কার্বন-শৃঙ্খল বলতে অণুটির গঠন সংকেতে অনুভূমিকভাবে লিখিত পরপর অবস্থিত কার্বনের শৃঙ্খল অংশটি শুধু বোঝায় না।



যেমন, দেখা গেল এই যৌগে C পরমাণুগুলিকে দীর্ঘতম শৃঙ্খলে দাঁড় করালে 5 কার্বন পরমাণুবিশিষ্ট শৃঙ্খল পাওয়া যায়। অতএব যৌগটির নামকরণে প্রথমে **'পেন্ট'** শব্দটি বসাতে হবে।

(2) নিয়ম 2—দীর্ঘতম শৃঙ্খলের নামকরণ ঃ *দীর্ঘতম শৃঙ্খল নির্ণয় করে ওই দীর্ঘতম শৃঙ্খলের মধ্যে কার্বন পরমাণুর সংখ্যা এক হলে 'মিথ', দুই হলে 'ইথ', তিন হলে 'প্রোপ', চার হলে 'বিউট', পাঁচ হলে 'পেন্ট', ছয় হলে 'হেক্স' এবং সাত হলে 'হেপ্ট' ইত্যাদি শব্দগুলি যৌগটির নামকরণের সময় প্রথমে বসাতে হয়।*



যেমন, উপরে প্রদত্ত যৌগে কার্বন পরমাণুগুলিকে দীর্ঘতম শৃঙ্খলে সাজালে 6 কার্বন পরমাণুবিশিষ্ট শৃঙ্খল পাওয়া যায়। সুতরাং এই যৌগটির নামকরণে প্রথমে **'হেক্স'** শব্দটি বসাতে হবে।

(3) নিয়ম 3 ঃ *যৌগটি সম্পৃক্ত না অসম্পৃক্ত হাইড্রোকার্বন তা নির্দেশ করার জন্য যৌগটির দীর্ঘতম শৃঙ্খল C পরমাণুর সংখ্যা অনুসারে 'মিথ', 'ইথ' ইত্যাদি শব্দগুলি বসিয়ে পরে শৃঙ্খলটির প্রকৃতি নির্দেশ করার জন্য কতকগুলি শব্দ ব্যবহার করা হয়।*

(i) যৌগটি সম্পৃক্ত হলে, পরে 'এন' (ane) শব্দটি বসাতে হয়।

যেমন, $CH_3—CH_3$ যৌগটিতে 2টি কার্বন পরমাণু আছে এবং সম্পৃক্ত, সুতরাং নাম **ইথ্ + এন্ = ইথেন।**

$CH_3—CH_2—CH_2—CH_3$ যৌগটিতে চারটি C পরমাণু আছে এবং সম্পৃক্ত। যৌগটির নাম **বিউট্ + এন্ = বিউটেন।**

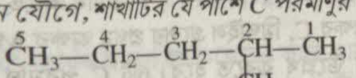
(ii) যৌগটি অসম্পৃক্ত এবং দ্বিবন্ধনে যুক্ত হলে, পরে 'ইন' (ene) শব্দটি বসাতে হয়।

যেমন, $CH_2 = CH—CH_3$ যৌগটিতে তিনটি C পরমাণু আছে এবং দুটি C পরমাণু আছে, যারা পরস্পর দ্বিবন্ধন দ্বারা যুক্ত, সুতরাং যৌগটির নাম—**প্রোপ + ইন = প্রোপিন।**

(iii) যৌগটি যদি অসম্পৃক্ত এবং ত্রিবন্ধন যুক্ত হয়, তাহলে পরে 'আইন' (yne) শব্দটি বসাতে হয়। যেমন, $H—C{\equiv}C—CH_3$ যৌগে তিনটি C পরমাণু আছে, এর মধ্যে দুটি C পরমাণু ত্রিবন্ধন দ্বারা যুক্ত, সুতরাং যৌগটির নাম—**প্রোপ্ + আইন = প্রোপাইন।**

(4) নিয়ম 4—কার্বন পরমাণুর নম্বরীকরণ ঃ *এক লাইনে দাঁড় করানো C পরমাণুগুলির একপ্রান্ত থেকে শুরু করে অন্য প্রান্ত পর্যন্ত C পরমাণুগুলির উপর 1, 2, 3, 4 ইত্যাদি নম্বর বসানো হয়।* যেমন, $\overset{4}{C}H_3—\overset{3}{C}H_2—\overset{2}{C}H_2—\overset{1}{C}H_3$

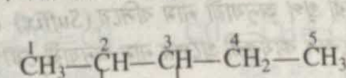
(5) নিয়ম 5—নিম্নতম সংখ্যার নিয়ম ঃ *শাখাযুক্ত কার্বন যৌগে, শাখাটির যে পাশে C পরমাণুর সংখ্যা কম, সেই দিক থেকেই C পরমাণুগুলির নম্বর দেওয়া শুরু করা হয়।* যেমন—



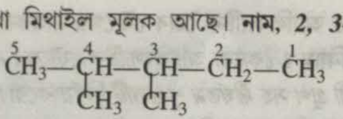
(6) নিয়ম 6—একের বেশি শাখা যুক্ত হলে সর্বনিম্ন সংখ্যার নিয়ম ঃ *কার্বন যৌগে যদি একের বেশি সংখ্যক শাখা থাকে, তাহলে যেদিক থেকে নম্বর দিতে শুরু করলে শাখাগুলির অবস্থান-নম্বরের যোগফল সবচেয়ে কম হয়, সেই দিক থেকে C পরমাণুগুলির নম্বর দিতে হয়। যৌগের অণুতে যদি একই প্রতিস্থাপক দুই, তিন, চার ইত্যাদি সংখ্যায় বর্তমান থাকে তাহলে যথাক্রমে ডাই, ট্রাই, টেট্রা ইত্যাদি শব্দগুলি প্রথমে বসিয়ে এদের সংখ্যা প্রকাশ করা হয়।*

প্রত্যেকটি প্রতিস্থাপকের অবস্থান পৃথক সংখ্যা দ্বারা নির্দেশ করা হয়। সংখ্যাগুলি পাশাপাশি থাকলে কমা চিহ্ন দ্বারা পৃথক করা হয় এবং সংখ্যা ও পদের মাঝে হাইফেন চিহ্ন দিতে হয়।

(i) যেমন—পাশের যৌগটিতে বামদিক থেকে নম্বর দিলে,



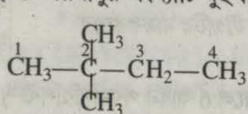
2 নং ও 3 নং C পরমাণুতে শাখা মিথাইল মূলক আছে। নাম, ***2, 3-ডাই-মিথাইলপেন্টেন।*** অবস্থান নম্বরের যোগফল = 2 + 3 = 5.



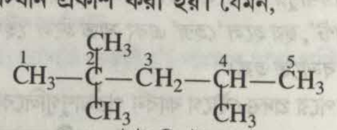
(ii) যৌগটিতে ডানদিক থেকে নম্বর দিলে C পরমাণুর অবস্থান-নম্বর অনুসারে 3 এবং 4 নম্বরের C পরমাণুতে শাখা আছে। সুতরাং নাম, **3, 4-ডাই-মিথাইলপেন্টেন।**

অবস্থান নম্বরের যোগফল = 3 + 4 = 7, যেহেতু এক্ষেত্রে অবস্থান-নম্বরের যোগফল আগের চেয়ে বেশি হচ্ছে অতএব এই নামকরণটি ভুল, **(i)** নম্বরের নামকরণটি সঠিক।

(7) নিয়ম 7 : *কোনো কার্বন যৌগের কার্বন শৃঙ্খলে যদি একই C পরমাণুর সঙ্গে 2টি প্রতিস্থাপক মূলক যুক্ত থাকে এবং অন্য C পরমাণুর সঙ্গে 1টি অথবা 2টি প্রতিস্থাপক মূলক যুক্ত থাকে, তাহলে C পরমাণুগুলিকে এমনভাবে নম্বর দেওয়া হয় যেন যৌগটির নামকরণ সবচেয়ে কম মানের সংখ্যা দিয়ে শুরু এবং প্রকাশ করা যায়।* এইভাবে নম্বর দিলে **প্রতিস্থাপক মূলক যুক্ত C পরমাণুগুলির নম্বরের যোগফল যেন সবচেয়ে কম হয়। একই C পরমাণুতে 2টি একই প্রতিস্থাপক উপস্থিত থাকলে, যৌগটির নামকরণে ওই C পরমাণুর সংখ্যাটি দুইবার লিখে ওদের অবস্থান প্রকাশ করা হয়।** যেমন,



2, 2-ডাই-মিথাইলবিউটেন



2, 2, 4-ট্রাই-মিথাইলপেন্টেন

(8) নিয়ম 8—কার্যকরী মূলকের জন্য সর্বনিম্ন নম্বর : *কার্যকরী গ্রুপ (Functional group) যুক্ত সমগোত্র শ্রেণির ক্ষেত্রে, C পরমাণুগুলির ওপরে নম্বর দেওয়ার সময় লক্ষ রাখতে হবে কোথায় যৌগটির কার্যকরী গ্রুপটি আছে।* যে C পরমাণুটির সঙ্গে যৌগটির কার্যকরী গ্রুপ যুক্ত আছে সেই C পরমাণুটিকে যতদূর সম্ভব কম নম্বর দিতে হবে। যেমন—

$\overset{5}{C}H_3-\overset{4}{C}H_2-\overset{3}{C}H_2-\overset{2}{C}H(OH)-\overset{1}{C}H_3$

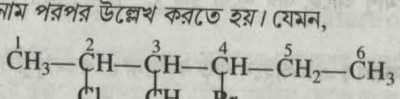
2-পেন্টানল বা পেন্টান-2-অল্

$\overset{5}{C}H_3-\overset{4}{C}H_2-\overset{3}{C}H(OH)-\overset{2}{C}H_2-\overset{1}{C}H_3$

3-পেন্টানল বা পেন্টান-3-অল্

দ্বিবন্ধন বা ত্রিবন্ধনকে কার্যকরী গ্রুপ হিসাবে গণ্য করা হয়। সুতরাং উপরের নিয়ম অনুযায়ী *যে C পরমাণুর সঙ্গে—* **(i)** *যৌগের* ***প্রধান কার্যকরী গ্রুপ যুক্ত আছে, অথবা,*** **(ii)** ***দ্বিবন্ধন অথবা ত্রিবন্ধন যুক্ত আছে, অথবা,*** **(iii)** *কোনো* ***পরমাণু বা গ্রুপ প্রতিস্থাপন*** *দ্বারা যুক্ত হয়েছে, সেই কার্বন পরমাণুটিকে যথাসম্ভব কম নম্বর দিতে হবে।*

(9) নিয়ম 9—*কোনো যৌগে একাধিক বিভিন্ন অ্যালকিল গ্রুপ বা পরমাণু মূলক প্রতিস্থাপন দ্বারা যুক্ত থাকলে ইংরেজি বর্ণমালার ক্রম অনুযায়ী ওই প্রতিস্থাপকগুলির নাম পরপর উল্লেখ করতে হয়।* যেমন,



এই যৌগে ব্রোমাইড, ক্লোরাইড এবং মিথাইল গ্রুপ বর্তমান আছে। এখন ইংরেজি বর্ণমালায় ব্রোমাইড গ্রুপের প্রথম অক্ষর হল B, ক্লোরাইড গ্রুপের প্রথম অক্ষর C, মিথাইল গ্রুপের প্রথম অক্ষর M-এর আগে থাকে। সুতরাং যৌগটিতে আগে ব্রোমো, পরে ক্লোরো এবং শেষে মিথাইল উল্লেখ করতে হবে। 6টি C পরমাণু থাকায় যৌগটির নাম **4-ব্রোমো-2-ক্লোরো-3-মিথাইল হেক্সেন।**

(10) নিয়ম 10—কোনো জৈব যৌগে একাধিক কার্যকরী গ্রুপ উপস্থিত থাকলে, *কোন কার্যকরী গ্রুপ অনুযায়ী যৌগটির নামকরণ করা হবে, সে-বিষয়ে I.U.P.A.C. নিয়ম অনুসারে বিভিন্ন কার্যকরী গ্রুপগুলিকে ক্রমিক সংখ্যা অনুসারে সাজানো হয়েছে। গ্রুপগুলিকে দুই ভাগে ভাগ করা হয়েছে। যথা—* ***প্রধান কার্যকরী (Principal) গ্রুপ এবং প্রতিস্থাপক অথবা অপ্রধান (Subsidiary) গ্রুপ।*** *প্রধান কার্যকরী গ্রুপ অনুযায়ী যৌগটির নামকরণ হয়। মূল নামের আগে অপ্রধান গ্রুপ (Prefix) এবং পরে প্রধান কার্যকরী গ্রুপ অনুযায়ী নাম বসিয়ে (Suffix) যৌগটির নামকরণ করা হয়। কোনো যৌগে একাধিক কার্যকরী গ্রুপ উপস্থিত থাকলে, কোন কার্যকরী গ্রুপের নাম অনুযায়ী যৌগটির নামকরণ হবে তার ক্রমিক পর্যায় পরের পাতার তালিকায় দেওয়া হল—*

ক্রম	কার্যকরী গ্রুপ	অপ্রধান গ্রুপ (Prefix) আগে বসবে	প্রধান কার্যকরী গ্রুপ (Suffix) শেষে বসবে	ক্রম	কার্যকরী গ্রুপ	অপ্রধান গ্রুপ (Prefix) আগে বসবে	প্রধান কার্যকরী গ্রুপ (Suffix) শেষে বসবে
1.	COOH কার্বোক্সিলিক অ্যাসিড	কার্বোক্সি	ওয়িক অ্যাসিড (Oic acid)	7.	OH অ্যালকোহল	হাইড্রক্সি	অল (ol)
2.	COOR কার্বোক্সিলিক এস্টার	অ্যালকোক্সি কার্বনিল	এট্ (ate)	8.	NH_2 অ্যামিন	অ্যামিনো	অ্যামিন
3.	$CONH_2$ কার্বক্সামাইড	কার্বমোয়িল	অ্যামাইড (amide)	9.	—O— ইথার	অ্যালকোক্সি	—
4.	CHO অ্যালডিহাইড	মিথানোয়িল	অ্যাল	10.	X=Cl, Br, I হ্যালাইড	ক্লোরো, ব্রোমো আয়োডো	—
5.	CN সায়ানাইড	সায়ানো	নাইট্রাইল	11.	C≡C অ্যালকাইন		আইন্
6.	C=O কিটোন	কিটো বা অক্সো	ওন্	12.	C—C অ্যালকিন	—	ইন্

কয়েকটি উদাহরণের সাহায্যে এই নিয়মগুলি বোঝানো হল—

(i) $\overset{5}{C}H_3—\overset{4}{C}H(OH)—\overset{3}{C}H_2—\overset{2}{C}H(Br)—\overset{1}{C}(H)=O$

যৌগটিতে [—CHO] গ্রুপের সঙ্গে [—OH], [—Br] কার্যকরী গ্রুপগুলি বর্তমান থাকলেও, [—CHO] কার্যকরী গ্রুপটি যৌগটির সমগোত্র প্রকাশ করবে। সেই অনুযায়ী নম্বর দিলে যৌগটির নাম হবে **2-ব্রোমো-4-হাইড্রক্সি পেন্টান্যাল**। অর্থাৎ —CHO কার্যকরী গ্রুপটি প্রধান কার্যকরী গ্রুপরূপে ব্যবহৃত হবে।

(ii) $\overset{4}{C}H_3—\overset{3}{C}H(OH)—\overset{2}{C}H_2—\overset{1}{C}(H)=O$

এখানে প্রধান গ্রুপ —CHO

নাম, 3-হাইড্রক্সি বিউটান্যাল

(iiii) $\overset{5}{C}H_3—\overset{4}{C}(=O)—\overset{3}{C}H_2—\overset{2}{C}H_2\overset{1}{C}OOH$

এখানে প্রধান গ্রুপ —COOH

নাম, 4-অক্সো পেন্টানোয়িক অ্যাসিড

মনে রাখবে ঃ —CHO, —COOH এবং —CN যদি কার্যকরী গ্রুপ হয় তবে সব সময় তাদের কার্বন সংখ্যা হবে (1)।

(11) নিয়ম 11—দ্বিবন্ধন এবং ত্রিবন্ধনযুক্ত হাইড্রোকার্বনের ক্ষেত্রে ঃ একই জৈব যৌগে দ্বিবন্ধন এবং ত্রিবন্ধন অবস্থান করলে দীর্ঘতম C শৃঙ্খল নির্ণয়ে এবং কার্বন পরমাণুর নম্বর দেওয়ার ক্ষেত্রে **ত্রিবন্ধন প্রাধান্য পায়**। দ্বিবন্ধন প্রতিস্থাপিত গ্রুপ হিসেবে বিবেচিত হয় এবং নামের শেষে 'আইন্' (yne) যুক্ত হয়। কিন্তু যদি গণনার ফলে দ্বিবন্ধন এবং ত্রিবন্ধনের ওপর আরোপিত মান এক হয়ে যায় সেক্ষেত্রে দীর্ঘতম C শৃঙ্খল নির্ধারণে দ্বিবন্ধন প্রাধান্য পায় কিন্তু নাম 'আইন্' (yne) দ্বারা সমাপ্ত হয়। এখানে প্রাধান্য বলতে কার্বনের নম্বর কম হবে বোঝায়।

$\overset{5}{C}H_3—\overset{4}{C}H=\overset{3}{C}H—\overset{2}{C}\equiv\overset{1}{C}H$

সঠিক নাম ঃ 3-পেন্টিন-1-আইন্

$H\overset{5}{C}\equiv\overset{4}{C}—\overset{3}{C}H_2—\overset{2}{C}H=\overset{1}{C}H_2$

সঠিক নাম ঃ 1-পেন্টিন-4-আইন্

$\overset{1}{C}H_3—\overset{2}{C}H=\overset{3}{C}H—\overset{4}{C}\equiv\overset{5}{C}—\overset{6}{C}H_3$

সঠিক নাম ঃ 2-হেক্সিন-4-আইন্

● **বিভিন্ন সমগোত্র শ্রেণির যৌগগুলির নামকরণের সাধারণ পদ্ধতি নীচের ছকে দেখানো হল—**

যৌগের সমগোত্র শ্রেণির নাম	প্রথমে বসবে	পরে বসবে	উদাহরণ
(1) অ্যালকেন $-\overset{\vert}{\underset{\vert}{C}}-\overset{\vert}{\underset{\vert}{C}}-$	দীর্ঘতম শৃঙ্খলে C-পরমাণুর সংখ্যা অনুযায়ী—1 হলে 'মিথ্', 2 হলে 'ইথ্', 3 হলে 'প্রোপ্', 4 হলে 'বিউট্', 5 হলে 'পেন্ট', 6 হলে 'হেক্স' ইত্যাদি শব্দ।	এন্	$CH_3-CH_2-CH_2-CH_3$ 4টি C পরমাণু আছে, সুতরাং নাম ঃ বিউট্ + এন্ → **বিউটেন**
(2) অ্যালকিন $-\overset{\vert}{C}=\overset{\vert}{C}-$	"	ইন্	$\overset{4}{C}H_3-\overset{3}{C}H_2-\overset{2}{C}H=\overset{1}{C}H_2$ 4টি C পরমাণু আছে যার 1 নং C-তে (=) আছে। নাম ঃ 1-বিউট্ + ইন্ → 1-বিউটিন
(3) অ্যালকাইন $-C\equiv C-$	"	আইন্	$\overset{4}{C}H_3-\overset{3}{C}\equiv\overset{2}{C}-\overset{1}{C}H_3$ 4টি C পরমাণু আছে, 2 নং C-তে ত্রিবন্ধন আছে, সুতরাং নাম ঃ 2-বিউট্ + আইন্ = 2-বিউটাইন বা, বিউট্-2-আইন্
(4) অ্যালকোহল [OH]	"	আনল	$\overset{4}{C}H_3-\overset{3}{C}H_2-\overset{2}{C}H(OH)-\overset{1}{C}H_3$ 4টি C পরমাণু আছে, 2 নং C-তে OH গ্রুপ আছে সুতরাং নাম ঃ 2-বিউট্ + আনল = 2-বিউটানল বা, বিউটান-2-অল
(5) অ্যালডিহাইড —CHO	"	আন্যাল	$\overset{4}{C}H_3\overset{3}{C}H_2\overset{2}{C}H_2\overset{1}{C}HO$ 4টি C পরমাণু আছে, সুতরাং নাম ঃ বিউট্ + আন্যাল = বিউটান্যাল
(6) কিটোন [>C=O]	"	আনোন	$\overset{4}{C}H_3\overset{3}{C}H_2\overset{2}{C}O\overset{1}{C}H_3$ 4টি C পরমাণু, 2 নং এ >C=O গ্রুপ আছে, নাম ঃ 2-বিউট্ + আনোন = 2-বিউটানোন বা, বিউটান-2-ওন্
(7) কার্বক্সিলিক অ্যাসিড (—COOH)	"	আনোয়িক অ্যাসিড	$\overset{4}{C}H_3\overset{3}{C}H_2\overset{2}{C}H_2\overset{1}{C}OOH$ 4টি C পরমাণু আছে, নাম ঃ বিউট্ + আনোয়িক অ্যাসিড = বিউটানোয়িক অ্যাসিড

● **কীভাবে নামকরণ করা হয়—(i)** সবগুলি কার্যকরী গ্রুপযুক্ত দীর্ঘতম C-শৃঙ্খল খুঁজে বের করা হয়। এই শৃঙ্খলে উপস্থিত C-পরমাণুর সংখ্যা অনুযায়ী মিথ, ইথ, ইত্যাদি প্রথমে লেখা হয়। যেমন 5টি C পরমাণুযুক্ত দীর্ঘতম শৃঙ্খল পাওয়া গেলে প্রথমে 5 'পেন্ট্' লিখতে হবে।

(ii) এইবার দীর্ঘতম শৃঙ্খলটির C পরমাণুগুলিকে এমনভাবে নম্বর দিয়ে চিহ্নিত করা হয় যেন যে যে C পরমাণুটি সঙ্গে প্রধান কার্যকরী মূলক যুক্ত আছে, সেই C পরমাণুটি যতদূর সম্ভব কম নম্বর পায়।

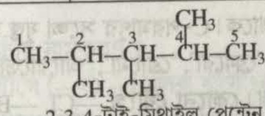
(iii) এরপর অপ্রধান গ্রুপ এবং পার্শ্ব শাখাগুলিকে ইংরেজি বর্ণের ক্রম অনুযায়ী সাজানো হয় এবং প্রতিটি অপ্রধান গ্রুপ এবং পার্শ্ব শাখার স্থান নম্বর দিয়ে প্রকাশ করা হয়—কোনোটি একের বেশি সংখ্যায় থাকলে প্রতিটির জন্য নম্বর দিয়ে ডাই, ট্রাই ইত্যাদি দিয়ে প্রকাশ করা হয়। এইবার পূর্ব বর্ণিত নিয়ম অনুসারে, একাধিক নম্বর থাকলে, প্রতিটি নম্বরের মাঝে কমা চিহ্ন দেওয়া হয় এবং নম্বর ও পদের মাঝে হাইফেন দেওয়া হয়।

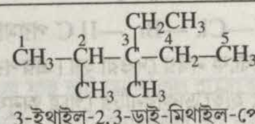
এইবার এক-একটি সমগোত্রে বিভিন্ন জৈব যৌগের I.U.P.A.C. নামকরণ কীভাবে করা হয়েছে আলোচনা করা হল।

1. হাইড্রোকার্বন যৌগের নামকরণ ঃ

(A) প্যারাফিন বা অ্যালকেন গোত্র (Alkanes) ঃ এই গোত্রের অন্তর্ভুক্ত যৌগগুলির দীর্ঘতম কার্বন শৃঙ্খলে কার্বন পরমাণুর সংখ্যা লক্ষ করো। C পরমাণু-সংখ্যা অনুযায়ী 'মিথ্', 'ইথ্', 'প্রোপ্' ইত্যাদি শব্দ প্রথমে লিখে পরে 'এন্' (ane) শব্দটি যোগ করে নাও। যেমন—

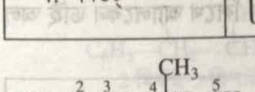
দীর্ঘতম শৃঙ্খলে C-পরমাণুর সংখ্যা	গঠন	সাধারণ নাম	I.U.P.A.C. নাম
1. মিথ্	CH_4	মিথেন	মিথ্ + এন্ = মিথেন
2. ইথ্	$CH_3—CH_3$	ইথেন	ইথ্ + এন্ = ইথেন
3. প্রোপ্	$CH_3—CH_2—CH_3$	প্রোপেন	প্রোপ্ + এন্ = প্রোপেন
4. বিউট্	$CH_3—CH_2—CH_2—CH_3$	বিউটেন	বিউট + এন্ = বিউটেন


2,3,4-ট্রাই-মিথাইল পেন্টেন


3-ইথাইল-2,3-ডাই-মিথাইল-পেন্টেন

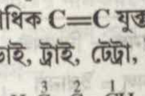
(B) অ্যালকিন গোত্র ঃ এই গোত্রের যৌগগুলির নামকরণ করার সময় কার্বন পরমাণুর সংখ্যা অনুযায়ী **'ইথ্', 'প্রোপ্'** ইত্যাদি নাম বসিয়ে শেষে **'ইন্'** (-ene) শব্দটি যোগ করতে হয়। যেমন,

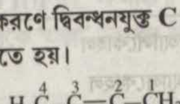
দীর্ঘতম শৃঙ্খলে C-পরমাণুর সংখ্যা	গঠন	সাধারণ নাম	I.U.P.A.C. নাম
2. ইথ	$H_2C{=}CH_2$	ইথিলিন	ইথ্ + ইন্ = ইথিন
3. প্রোপ্	$H_3C—CH{=}CH_2$	প্রোপিলিন	প্রোপ্ + ইন্ = প্রোপিন
4. বিউট্	$H_3\overset{4}{C}—\overset{3}{C}H_2—\overset{2}{C}H{=}\overset{1}{C}H_2$	বিউটিন	1-বিউট + ইন্ = 1-বিউটিন
	$H_3\overset{4}{C}—\overset{3}{C}H{=}\overset{2}{C}H—\overset{1}{C}H_3$	বিউটিলিন	2-বিউটিন

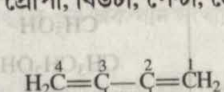


দ্বিবন্ধনযুক্ত কার্বন পরমাণু থেকে নম্বর দিতে শুরু করলে, 5 কার্বন পরমাণুবিশিষ্ট কার্বন শৃঙ্খল পাওয়া যায়, যার 1 নম্বর C-তে দ্বিবন্ধন, 2 এবং 4 নম্বর C-এর সঙ্গে CH_3-গ্রুপ উপস্থিত আছে। সুতরাং নাম, 2, 4-ডাই-মিথাইল-1-বিউটিন।

একাধিক C=C যুক্ত যৌগের নামকরণে দ্বিবন্ধনযুক্ত C পরমাণুর নম্বর লিখে প্রোপা, বিউটা, পেন্টা, হেক্সা ইত্যাদি লিখে শেষে ডাই, ট্রাই, টেট্রা, ইন্ যোগ করতে হয়।

(i) 
2-মিথাইল প্রোপিন

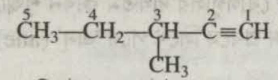

2,3-ডাই-মিথাইল-2-বিউটিন


2,3-ডাই-মিথাইল বিউটা-1,3-ডাইইন্
বা, 2,3-ডাই-মিথাইল-1,3-বিউটাডাইইন্

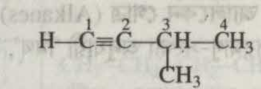
(C) অ্যাসিটিলিন বা অ্যালকাইন গোত্র ঃ এই গোত্রের যৌগগুলির নামকরণ করার সময় C পরমাণুর সংখ্যা অনুযায়ী **ইথ্, প্রোপ্** ইত্যাদি শব্দ বসিয়ে শেষে **'আইন্'** (-yne) শব্দটি যোগ করতে হয়। যেমন,

দীর্ঘতম শৃঙ্খলে C-পরমাণুর সংখ্যা	গঠন	সাধারণ নাম	I.U.P.A.C. নাম
2. ইথ্	$HC{\equiv}CH$	অ্যাসিটিলিন	ইথ্ + আইন্ = ইথাইন
3. প্রোপ্	$H_3\overset{3}{C}—\overset{2}{C}{\equiv}\overset{1}{C}H$	মিথাইল অ্যাসিটিলিন	প্রোপ্ + আইন্ = প্রোপাইন
4. বিউট	$H_3\overset{4}{C}—\overset{3}{C}H_2—\overset{2}{C}{\equiv}\overset{1}{C}H$	ইথাইল অ্যাসিটিলিন	1-বিউটাইন
	$H_3\overset{4}{C}—\overset{3}{C}{\equiv}\overset{2}{C}—\overset{1}{C}H_3$	ডাই-মিথাইল অ্যাসিটিলিন	2-বিউটাইন

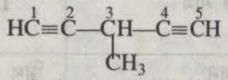
একাধিক C≡C বন্ধনযুক্ত যৌগের নামকরণে ত্রিবন্ধন যুক্ত C পরমাণুগুলির নম্বর লিখে বিউটা, পেন্টা, হেক্সা ইত্যাদি লিখে শেষে ডাই, ট্রাই কিংবা টেট্রা আইন্ যোগ করা হয়।

(i) 

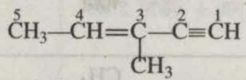
3-মিথাইল-1-পেন্টাইন্

(ii) 

3-মিথাইল-1-বিউটাইন বা, 3-মিথাইল-বিউট্-1-আইন্

(iii) 

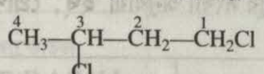
3-মিথাইল-1,4-পেন্টাডাইআইন বা, 3-মিথাইল-পেন্টা-1,4-ডাইআইন্

(iv) 

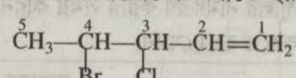
3-মিথাইল পেন্ট-3-ইন্-1-আইন্

2. অ্যালকিল হ্যালাইড যৌগের নামকরণ ঃ

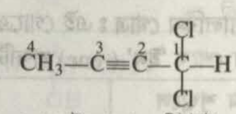
এই জাতীয় যৌগে হ্যালাইড [—Cl, —Br, —I] C পরমাণুর সঙ্গো যুক্ত থাকে। C-পরমাণুর সঙ্গো যুক্ত হ্যালাইড যেদিকে C পরমাণুর সংখ্যা কম সেই দিক থেকে নম্বর দেওয়া হয়। এরপর নম্বর অনুযায়ী 'ক্লোরো', 'ব্রোমো', 'আয়োডো' ইত্যাদি শব্দগুলি বসিয়ে কার্বন পরমাণুর সংখ্যা এবং হাইড্রোকার্বনটির গোত্র অনুযায়ী নামকরণ হয়। **কোনো যৌগে —Cl, —Br, —I উপস্থিত থাকলে প্রথমে 'ব্রোমো', পরে 'ক্লোরো' এবং শেষে 'আয়োডো' বসাতে হয়।**

(i) 

1,3-ডাইক্লোরো বিউটেন

(ii) 

4-ব্রোমো-3-ক্লোরো-1-পেন্টিন

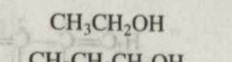
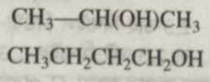
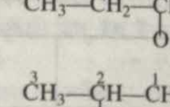
(iii) 

1,1-ডাইক্লোরো-2-বিউটাইন বা, 1,1-ডাইক্লোরো-বিউট্-2-আইন

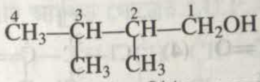
3. অ্যালকোহল গোত্রের নামকরণ ঃ

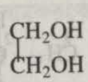
এই গোত্রের কার্যকরী মূলক (—OH)। দীর্ঘতম শৃঙ্খলে C পরমাণুর সংখ্যা অনুযায়ী **মিথ্, ইথ্** ইত্যাদি বসিয়ে শেষে **'আনল্'** শব্দটি যোগ করে এই গোত্রের যৌগের নামকরণ করা হয়। **যে C পরমাণুর সঙ্গে —OH যুক্ত থাকে তাকে কম নম্বর দিতে হবে।**

কোনো যৌগে 2টি অথবা 3টি —OH গ্রুপ থাকলে সেক্ষেত্রে OH গ্রুপের অবস্থান সংখ্যায় লিখে অ্যালকেন ডাই অল্ বা অ্যালকেন ট্রাই অল্ লিখতে হয়।

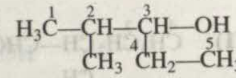
দীর্ঘতম শৃঙ্খলে C-পরমাণুর সংখ্যা	গঠন	সাধারণ নাম	I.U.P.A.C. নাম
1. মিথ্	CH_3OH	মিথাইল অ্যালকোহল	মিথ্ + আনল = মিথানল
2. ইথ্	CH_3CH_2OH	ইথাইল অ্যালকোহল	ইথ্ + আনল = ইথানল
3. প্রোপ্	$CH_3CH_2CH_2OH$	*n*-প্রোপাইল অ্যালকোহল	প্রোপ্ + আনল = প্রোপানল
3. প্রোপ্	$CH_3—CH(OH)CH_3$	আইসো প্রোপাইল অ্যালকোহল	2-প্রোপানল বা প্রোপান-2-অল
4. বিউট্	$CH_3CH_2CH_2CH_2OH$	*n*-বিউটাইল অ্যালকোহল	1-বিউটানল
4. বিউট্		সেকেন্ডারি বিউটাইল অ্যালকোহল	2-বিউটানল বা 2-বিউটান-2-অল
3. প্রোপ্		আইসো বিউটাইল অ্যালকোহল	2-মিথাইল-1-প্রোপানল বা 2-মিথাইল প্রোপান্-1-অল্
3. প্রোপ্		টার্সিয়ারী বিউটাইল অ্যালকোহল	2-মিথাইল-2-প্রোপানল বা 2-মিথাইল প্রোপান-2-অল্

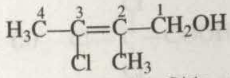
অ্যালকোহল গোত্রের I.U.P.A.C. নামকরণের কয়েকটি উদাহরণ ঃ

(1) 
2,3-ডাই-মিথাইল বিউটান্-1-অল্

(2) 
1,2-ইথেন ডাইঅল

(3) $\overset{3}{C}H_2(OH)\overset{2}{C}H_2\overset{1}{C}H_2OH$
1,3-প্রোপেন ডাইঅল্

(4) 
2-মিথাইল পেন্টান-3-অল্ বা 2-মিথাইল-3-পেন্টানল

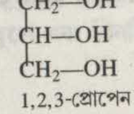
(5) 
3-ক্লোরো-2-মিথাইল বিউট্-2-ইন্-1-অল্

(6) $\overset{1}{C}H_2(OH)—\overset{2}{C}H=\overset{3}{C}H—\overset{4}{C}H_3$
বিউট্-2-ইন্-1-অল্

(7) $\overset{3}{C}H_2=\overset{2}{C}H\overset{1}{C}HOH$
2-প্রোপিন-1-অল্

(8) $CH_3CH_2CH(OH)CH_2CH_2CH_3$
3-হেক্সানল বা হেক্সান্-3-অল্

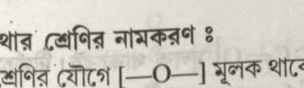
(9) $\overset{5}{C}H_3—\overset{4}{C}\equiv\overset{3}{C}—\overset{2}{C}H(OH)—\overset{1}{C}H_3$
পেন্ট্-3-আইন্-2-অল্

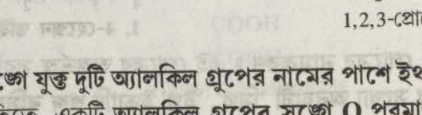
(10) 
1,2,3-প্রোপেন ট্রাইঅল্

4. ইথার শ্রেণির নামকরণ ঃ

এই শ্রেণির যৌগে [—O—] মূলক থাকে। O পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত দুটি অ্যালকিল গ্রুপের নামের পাশে ইথার শব্দটি যোগ করে যৌগের সাধারণ নাম পাওয়া যায়। I.U.P.A.C. পদ্ধতিতে, একটি অ্যালকিল গ্রুপের সঙ্গে O পরমাণু যুক্ত হয়ে যে অ্যালকোক্সি মূলক উৎপন্ন করে, তার নামের সঙ্গে অন্য বৃহত্তম অ্যালকিল গ্রুপটি যে অ্যালকেন থেকে উৎপন্ন হয় সেই অ্যালকেনের নাম যোগ করতে হয়।

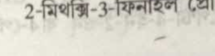
গঠন	সাধারণ নাম	I.U.P.A.C. নাম
$CH_3—O—C_2H_5$	মিথাইল ইথাইল ইথার	মিথক্সি ইথেন
$CH_3—O—C_3H_7$	মিথাইল প্রোপাইল ইথার	1-মিথক্সি প্রোপেন
$C_3H_7—O—C_4H_9$	প্রোপাইল বিউটাইল ইথার	1-প্রোপোক্সি বিউটেন


2-মিথক্সি-3-ফিনাইল প্রোপেন


2-ইথক্সি-5-মিথাইল হেক্সেন

● **ইথারের নামকরণের অপর একটি IUPAC পদ্ধতি ঃ** অক্সিজেন পরমাণুকে মূল শৃঙ্খলের অংশরূপে ধরে C পরমাণু রূপে নম্বর দিয়ে নামকরণ করা হয়। O-পরমাণুকে 'অক্সা' উপপদ দিয়ে সূচিত করে মূল শৃঙ্খলে ওর অবস্থান সংখ্যা দিয়ে প্রকাশ করা হয়। যেমন—

(i) $\overset{1}{C}H_3\,\overset{2}{O}\,\overset{3}{C}H_2\,\overset{4}{C}H_2\,\overset{5}{C}H_3$. এখানে O-কে ধরে মূল নাম হল পেন্টেন। সুতরাং ইথারটির নাম হল 2-অক্সাপেন্টেন।

(ii)  নাম ঃ 2-মিথাইল-3-অক্সাপেন্টেন

5. অ্যালডিহাইড শ্রেণির নামকরণ ঃ

এদের প্রত্যেকের মধ্যে [—CHO] মূলক থাকবেই। দীর্ঘতম শৃঙ্খলে কার্বন সংখ্যা অনুযায়ী মিথ্, ইথ্ ইত্যাদি শব্দ প্রথমে বসিয়ে শেষে 'অ্যান্যাল' (-anal) শব্দটি যোগ করে এদের নামকরণ করা হয়।

C-পরমাণুর সংখ্যা	গঠন	সাধারণ নাম	I.U.P.A.C. নাম
1. মিথ্	H—CHO	ফর্ম্যালডিহাইড	মিথ্ + আন্যাল্ = মিথান্যাল
2. ইথ্	CH_3CHO	অ্যাসিট্যালডিহাইড	ইথ্ + আন্যাল্ = ইথান্যাল
3. প্রোপ্	$CH_3—CH_2CHO$	প্রোপিয়োন্যালডিহাইড	প্রোপ্ + আন্যাল্ = প্রোপান্যাল
4. বিউট্	$CH_3—CH_2—CH_2CHO$	বিউট্যার্যালডিহাইড	বিউট্ + আন্যাল্ = বিউটান্যাল

অ্যালডিহাইড গোত্রের কতকগুলি যৌগের I.U.P.A.C. নামকরণের আরও কয়েকটি উদাহরণ নীচে দেওয়া হল ঃ

(1) $CH_3CH_2CH(CH_3)-CHO$
2-মিথাইল বিউটান্যাল

(2) $CH_3CH(CH_3)-CCl_2-CHO$
2,2-ডাইক্লোরো-3-মিথাইল বিউটান্যাল

(3) $CH_3-CH(CH_3)-CH=O$
2-মিথাইল প্রোপান্যাল

(4) $Cl-CCl_2-CH=O$
2,2,2-ট্রাইক্লোরো ইথান্যাল

(5) $CH_2=CH\,CHO$
2-প্রোপিন্যাল

যখন কোনো জৈব যৌগে 2টি অ্যালডিহাইড গ্রুপ যুক্ত থাকে, তখন ওর নাম অ্যালকেন ডাইঅ্যাল হয়। যেমন—

$$H-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-CH_2-CH_2-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-H$$

1, 4-হেক্সেন ডাইঅ্যাল

6. কিটোন গোত্রের নামকরণ ঃ এই গোত্রের অন্তর্ভুক্ত সব যৌগের মধ্যে $[>C=O]$ **মূলক থাকবেই। দীর্ঘতম শৃঙ্খলে কার্বন পরমাণুর সংখ্যা অনুযায়ী 'মিথ্', 'ইথ্' ইত্যাদি শব্দ বসিয়ে, পরে 'আনোন্' (-anone) শব্দটি যোগ করলে এই জাতীয় যৌগের নামকরণ করা হয়।** কার্বনিল গ্রুপের কার্বন পরমাণুর সংখ্যাটি প্রথমে লিখতে হবে।

কোনো যৌগে 2টি অথবা 3টি [=CO] গ্রুপ থাকলে; গ্রুপের অবস্থান সংখ্যায় লিখে অ্যালকেন ডাই, ট্রাই ইত্যাদি লিখে শেষে ওন্ লিখতে হয়।

C-পরমাণুর সংখ্যা	গঠন	সাধারণ নাম	I.U.P.A.C. নাম
3. প্রোপ্	CH_3COCH_3	অ্যাসিটোন	প্রোপ্ + আনোন্ = প্রোপানোন
4. বিউট্	$CH_3CH_2COCH_3$	মিথাইল ইথাইল কিটোন	2-বিউট্ + আনোন্ = 2-বিউটানোন
5. পেন্ট্	$CH_3CH_2COCH_2CH_3$	ডাই ইথাইল কিটোন	3-পেন্ট্ + আনোন্ = 3-পেন্টানোন

কিটোন গোত্রের যৌগের I.U.P.A.C. নামকরণের আরও কয়েকটি উদাহরণ ঃ

(1) $CH_3-CH_2-CO-CH_2-CH_3$
3-পেন্টানোন বা পেন্টান্-3-ওন্

(2) $CH_3-CH(OH)-CH(Br)-C(CH_3)=O$
3-ব্রোমো-4-হাইড্রক্সি পেন্টান্-2-ওন্

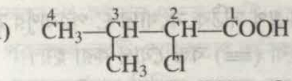
(3) $CH_3-CO-CH_2-CH=CH_2$
পেন্টা-4-ইন্-2-ওন্ বা 4-পেন্টিন-2-ওন্

7. ফ্যাটি অ্যাসিডের নামকরণ ঃ

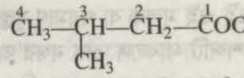
এদের প্রত্যেকের মধ্যে [—COOH] মূলকটি থাকবেই। **দীর্ঘতম শৃঙ্খলে C পরমাণুর সংখ্যা অনুযায়ী 'মিথ্', 'ইথ্' ইত্যাদি বসিয়ে, শেষে 'আনোয়িক অ্যাসিড' শব্দটি যোগ করে এদের নামকরণ করতে হয়।**

C-পরমাণুর সংখ্যা	গঠন	সাধারণ নাম	I.U.P.A.C. নাম
1. মিথ্	$HCOOH$	ফর্মিক অ্যাসিড	মিথানোয়িক অ্যাসিড
2. ইথ্	CH_3COOH	অ্যাসিটিক অ্যাসিড	ইথানোয়িক অ্যাসিড
3. প্রোপ্	CH_3CH_2COOH	প্রোপিয়োনিক অ্যাসিড	প্রোপানোয়িক অ্যাসিড
4. বিউট্	$CH_3CH_2CH_2COOH$	বিউটারিক অ্যাসিড	বিউটানোয়িক অ্যাসিড
3. প্রোপ্	$CH_2(OH)-CH_2COOH$	β-হাইড্রক্সি প্রোপিয়োনিক অ্যাসিড	3-হাইড্রক্সি প্রোপানোয়িক অ্যাসিড
4. বিউট্	$CH_3-CH(Cl)-CH(CH_3)-COOH$	α-মিথাইল-β-ক্লোরো-বিউটারিক অ্যাসিড	3-ক্লোরো-2-মিথাইল বিউটানোয়িক অ্যাসিড
3. প্রোপ্	$CH_3CH(CH_3)COOH$	আইসো বিউটারিক অ্যাসিড	2-মিথাইল প্রোপানোয়িক অ্যাসিড

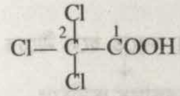
ফ্যাটি অ্যাসিড গোত্রের I.U.P.A.C. নামকরণের আরও কয়েকটি উদাহরণ ঃ

(1) 

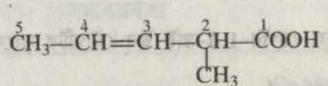
2-ক্লোরো-3-মিথাইল বিউটানোয়িক অ্যাসিড

(2) 

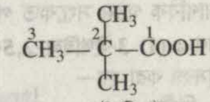
3-মিথাইল বিউটানোয়িক অ্যাসিড

(3) 

2,2,2-ট্রাইক্লোরো ইথানোয়িক অ্যাসিড

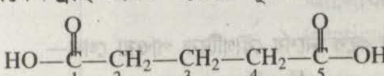
(4) 

2-মিথাইল-পেন্ট্-3-ইন্-1-ওয়িক অ্যাসিড বা 2-মিথাইল-3-পেন্টিনোয়িক অ্যাসিড

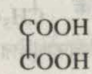
(5) 

2,2-ডাই মিথাইল প্রোপানোয়িক অ্যাসিড

জৈব যৌগের অণুতে দুটি কার্বক্সিল গ্রুপ উপস্থিত থাকলে অ্যালকেন ডাই ওয়িক অ্যাসিড রূপে এবং তিনটি কার্বক্সিল গ্রুপ থাকলে অ্যালকেন ট্রাই ওয়িক অ্যাসিড রূপে নামকরণ করা হয়। যেমন—



1, 5-পেন্টেন ডাইওয়িক অ্যাসিড



ইথেন ডাইওয়িকঅ্যাসিড

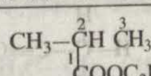
8. এস্টার গোত্রের নামকরণ ঃ

এই জাতীয় যৌগের কার্যকরী গ্রুপ [—COOR]। I.U.P.A.C. পদ্ধতিতে, প্রথমে —COOR গ্রুপের মধ্যস্থ **অ্যালকিল মূলক R-এর নাম লিখে অ্যাসিডের যে নাম সেই নামের 'আনোয়িক অ্যাসিড' শব্দটির পরিবর্তে 'আনোয়েট' শব্দটি বসাতে হয়।**

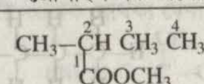
গঠন	সাধারণ নাম	I.U.P.A.C. নাম
$HCOOCH_3$	মিথাইল ফর্মেট	মিথাইল মিথানোয়েট
CH_3COOCH_3	মিথাইল অ্যাসিটেট	মিথাইল ইথানোয়েট
$CH_3COOC_2H_5$	ইথাইল অ্যাসিটেট	ইথাইল ইথানোয়েট
$C_3H_7COOC_3H_7$	প্রোপাইল বিউটানোয়েট	প্রোপাইল বিউটানোয়েট

$BrCH_2CH_2COOMe$

3-ব্রোমো মিথাইল প্রোপানোয়েট



ইথাইল-2-মিথাইল-প্রোপানোয়েট



মিথাইল-2-মিথাইল বিউটানোয়েট

9. অ্যামিন শ্রেণির নামকরণ ঃ

এই শ্রেণির নামকরণে NH_2 গ্রুপটির সঙ্গে যে অ্যালকিল গ্রুপ যুক্ত থাকে, তার C পরমাণুর সংখ্যা অনুযায়ী অ্যালকেনের নাম লিখে অ্যালকেনের নামের আগে অ্যামিনো শব্দটি যোগ করা হয়, অথবা **মিথান, ইথান, ইত্যাদির সাথে অ্যামিন শব্দটি** যোগ করতে হয়। ইংরেজিতে ALKANE – E + AMINE = ALKANAMINE অ্যামিনো এবং কোনো পার্শ্ব শাখার স্থান সংখ্যা দিয়ে প্রকাশ করা হয়।

গঠন	সাধারণ নাম	I.U.P.A.C. নাম
CH_3NH_2	মিথাইল অ্যামিন	অ্যামিনো মিথেন বা মিথানামিন
$C_2H_5NH_2$	ইথাইল অ্যামিন	অ্যামিনো ইথেন বা ইথানামিন
$C_3H_7NH_2$	প্রোপাইল অ্যামিন	অ্যামিনো প্রোপেন বা প্রোপানামিন
$\overset{3}{C}H_3—\overset{2}{C}H(CH_3)—\overset{1}{C}H_2—NH_2$	আইসো বিউটাইল অ্যামিন	1-অ্যামিনো-2-মিথাইল প্রোপেন বা 2-মিথাইল প্রোপানামিন

● কোনো জৈব যৌগের I.U.P.A.C. নাম দেওয়া থাকলে যৌগটির গঠনমূলক আণবিক সংকেত লেখার পদ্ধতি ঃ

(i) প্রদত্ত নামে মিথ্, ইথ্, বিউট্, পেন্ট্ ইত্যাদি শব্দ অনুযায়ী প্রয়োজন সংখ্যক C পরমাণুগুলিকে এক বন্ধন দ্বারা যোগ করে এক সারিতে দাঁড় করানো হয়। যেমন—পেন্টেন বললে 5টি কার্বন পরমাণুগুলিকে পর পর সাজিয়ে C-শৃঙ্খলের এক প্রান্ত থেকে আরম্ভ করে C পরমাণুগুলির মাথায় নম্বর দেওয়া হয়। যেমন— $\overset{1}{C}—\overset{2}{C}—\overset{3}{C}—\overset{4}{C}—\overset{5}{C}$।

এখন I.U.P.A.C. নাম অনুযায়ী যৌগটির অণুতে কত নম্বর কার্বনে কী কী মূলক বা পরমাণু যুক্ত আছে দেখে ঠিক সেই নম্বর দেওয়া C পরমাণুর সঙ্গে ওই ওই মূলক বা পরমাণু যুক্ত করা হয়। যৌগের কার্যকরী গ্রুপ সঠিক সংখ্যার C পরমাণুর সঙ্গে যোগ করা হয়। **'ইন'** বা **'আইন্'** শব্দটি থাকলে তার নম্বর অনুযায়ী C পরমাণুতে (=) বা (≡) বন্ড যোগ করা হয়।

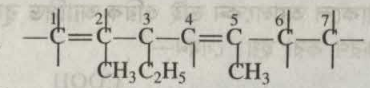
(ii) সব যোগ করা হয়ে গেলে পর C পরমাণুগুলির বাকি যোজ্যতাগুলির সঙ্গে H পরমাণু যোগ করলেই প্রদত্ত কোনো জৈব যৌগের আণবিক গঠন সংকেত পাওয়া যায়।

উদাহরণ : (1) 3-ইথাইল-2,5-ডাই মিথাইল হেপ্টা-1,4-ডাই ইন্ যৌগটির সংকেত নির্ণয় করতে হলে নীচের প্রদত্ত ধাপগুলি পরপর অনুসরণ করা হয়—

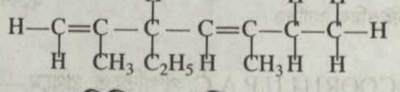
প্রথম + দ্বিতীয় ধাপ : $\overset{1}{C}-\overset{2}{C}-\overset{3}{C}-\overset{4}{C}-\overset{5}{C}-\overset{6}{C}-\overset{7}{C}$.

তৃতীয় ধাপ : 3 নং C-তে C_2H_5 এবং 2 ও 5 নং C-এর সাথে CH_3 গ্রুপ যোগ করে 1 নং ও 4 নং C-এর সঙ্গে দ্বিবন্ধন যোগ করা হল।

এইভাবে পাওয়া গেল,

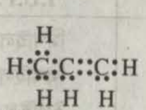


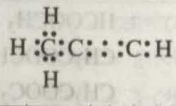
চতুর্থ ধাপ : এখন বাকি যোজ্যতাগুলির সাথে H পরমাণু যোগ করে নির্ণেয় যৌগটিকে পাওয়া গেল—



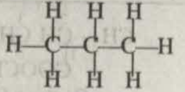
● জৈব যৌগের গঠন সংকেত লেখার বিভিন্ন পদ্ধতি :

(1) ইলেকট্রন ডট্ সংকেত—ইলেকট্রন ডট্ গঠন দিয়ে জৈব যৌগের গঠন প্রকাশ করা যায়। এতে কেবল যোজ্যতা ইলেকট্রন দেখানো হয়। যেমন,

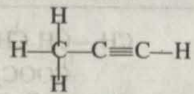
প্রোপিনের ডট্ সংকেত 

প্রোপাইনের ডট্ সংকেত 

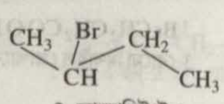
(2) ড্যাস সংকেত—এই পদ্ধতিতে এক বন্ধনকে 1টি, দ্বিবন্ধনকে 2টি এবং ত্রিবন্ধনকে 3টি ড্যাসের দ্বারা প্রকাশ করা হয়। যেমন,



প্রোপেন



প্রোপাইন

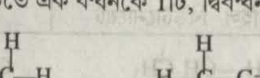


2-ব্রোমোবিউটেন

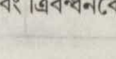
(3) সংক্ষিপ্ত গঠন সংকেত : $CH_3\ \underset{\textstyle OH}{CH}\ CH_3$ (2-প্রোপানল) $CH_3C{\equiv}CCH_3$ (2-বিউটাইন) $CH_3CHBrCH_2CH_3$ (2-ব্রোমো বিউটেন)

(4) বন্ধনী রেখা সংকেত—এতে শুধু কাঠামোটি প্রকাশ করা হয়। যেমন,

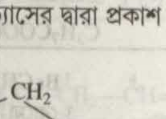
$CH_3CHBrCH_2CH_3$
2-ব্রোমো বিউটেনের সংক্ষিপ্ত সংকেত



2-ব্রোমো বিউটেনের ড্যাস সংকেত



2-ব্রোমো বিউটেনের বন্ধনী রেখা সংকেত



বিউটা-1,3-ডাইইন

3.8. জৈব যৌগের আইসোমেরিজম বা সমাবয়বতা [Isomerism of organic compounds]

যেসব যৌগের আণবিক সংকেত একই, কিন্তু আণবিক গঠন ভিন্ন হওয়ার জন্য যৌগগুলির ভৌত ও রাসায়নিক ধর্ম ভিন্ন হয়, সেই রকম যৌগগুলিকে পরস্পরের সমাবয়বী (isomers) বলা হয়।

একই আণবিক সংকেত বিশিষ্ট বিভিন্ন ধর্মের একাধিক যৌগ গঠনের এইরকম বৈশিষ্ট্যকে সমাবয়বতা (isomerism) বলে। যেমন—

ডাইমিথাইল ইথার → CH_3-O-CH_3 → (C_2H_6O) এবং
ইথাইল অ্যালকোহল → CH_3CH_2OH → (C_2H_6O)

ইথাইল অ্যালকোহল অণুর মধ্যে [—OH] মূলক কার্যকরী মূলক রূপে বর্তমান থাকে এবং ডাইমিথাইল ইথারে [—O—] কার্যকরী মূলকরূপে বর্তমান থাকে। তাই এদের ধর্ম বিভিন্ন হয়।

কার্বন পরমাণুর চারটি যোজ্যতার অভিমুখ থাকার জন্য এবং বিভিন্ন যোজন বৈচিত্র্যের জন্য জৈব যৌগের এই বৈশিষ্ট্য দেখা যায়। নীচে সমাবয়বতার বিভিন্ন প্রকার দেওয়া হল ঃ

সমাবয়বতা

- **গাঠনিক সমাবয়বতা** (Structural isomerism)
  - শৃঙ্খল সমাবয়বতা (Chain isomerism)
  - অবস্থানগত সমাবয়বতা (Position isomerism)
  - ফাংশনাল সমাবয়বতা (Functional isomerism)
  - মেটামেরিজম (Metamerism)
- **ত্রিমাত্রিক সমাবয়বতা** (Stereo isomerism)
  - **আলোকীয় সমাবয়বতা** (Optical isomerism)
  - **জ্যামিতিক সমাবয়বতা** (Geometrical isomerism)

[A] গাঠনিক সমাবয়বতা ঃ

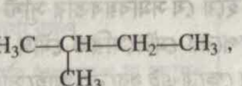
একই আণবিক সংকেতবিশিষ্ট যৌগের গঠনে, পরমাণু ও কার্যকরী গ্রুপের বিন্যাস ভিন্ন ভিন্ন হওয়ার জন্য এই জাতীয় সমাবয়বতার সৃষ্টি হয়। এই জাতীয় সমাবয়বতাকে চারটি ভাগে ভাগ করা যায়—

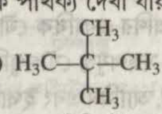
(a) শৃঙ্খল সমাবয়বতা, (b) অবস্থানগত সমাবয়বতা, (c) ফাংশনাল সমাবয়বতা ও (d) মেটামেরিজম।

(1) শৃঙ্খল সমাবয়বতা ঃ *একই সমগোত্র শ্রেণির যৌগের অণুর মধ্যে কার্বন শৃঙ্খলের গঠন বিভিন্ন হওয়ার জন্য যে সমাবয়বতার সৃষ্টি হয় তাকে শৃঙ্খল সমাবয়বতা বলে।*

উদাহরণ ঃ C_5H_{12} —এই সংকেতের **3**টি বিভিন্ন হাইড্রোকার্বন আছে যাদের ধর্মের অনেক পার্থক্য দেখা যায়।

(i) $CH_3—CH_2—CH_2—CH_2—CH_3$,
নর্ম্যাল পেন্টেন বা *n*-পেন্টেন

(ii) 
2-মিথাইল বিউটেন

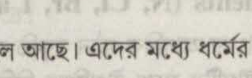
(iii) 
2,2-ডাইমিথাইল প্রোপেন

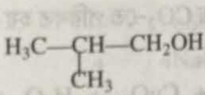
এই জাতীয় সমাবয়বতাকে শৃঙ্খল সমাবয়বতা (chain isomerism) বলা হয়, কারণ এদের পারস্পরিক পার্থক্যের কারণ হল, কার্বন শৃঙ্খলে C পরমাণুর ভিন্নতর অবস্থান।

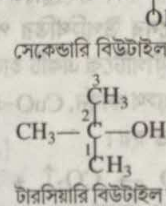
(2) অবস্থানগত সমাবয়বতা ঃ *একই কার্যকরী মূলক, কার্বন-শৃঙ্খলের বিভিন্ন অবস্থানে কার্বন পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত থাকলে, যে ধরনের সমাবয়বতার সৃষ্টি হয়, তাকে অবস্থান সমাবয়বতা বলে।*

উদাহরণ ঃ $C_4H_{10}O$ —এই আণবিক সংকেতের **4**টি বিভিন্ন অ্যালকোহল আছে। এদের মধ্যে ধর্মের অনেক পার্থক্য দেখা যায়।

(i) $CH_3—CH_2—CH_2—CH_2OH$
বিউটাইল অ্যালকোহল বা 1-বিউটানল

(ii) 
সেকেন্ডারি বিউটাইল অ্যালকোহল বা 2-বিউটানল

(iii) 
আইসো বিউটাইল অ্যালকোহল বা 2-মিথাইল-1-প্রোপানল

(iv) 
টারসিয়ারি বিউটাইল অ্যালকোহল বা 2-মিথাইল-2-প্রোপানল

এই চারটি যৌগের পার্থক্য কেবল কার্যকরী গ্রুপ বা শ্রেণি-নির্দেশক গ্রুপটির (—OH) শৃঙ্খলের বিভিন্ন স্থানে অবস্থানের জন্য।

● **বিউটিনের কতগুলি সমাবয়ব সম্ভব? তারা কী ধরনের সমাবয়বতা দেখায়?**

1-বিউটিন এবং 2-বিউটিন অবস্থানগত সমাবয়বী।

$\overset{4}{C}H_3—\overset{3}{C}H_2—\overset{2}{C}H{=}\overset{1}{C}H_2$ (1-বিউটিন) $\overset{4}{C}H_3—\overset{3}{C}H{=}\overset{2}{C}H—\overset{1}{C}H_3$ (2-বিউটিন)

(3) ফাংশনাল গ্রুপ সমাবয়বতা ঃ সমাবয়বী পদার্থগুলি যে একই সমগোত্র শ্রেণিভুক্ত হবে এমন কোনো নিয়ম নেই। *একই আণবিক সংকেত বিশিষ্ট একাধিক বিভিন্ন ফাংশনাল গ্রুপযুক্ত যৌগগুলির সমাবয়বতাকে ফাংশনাল গ্রুপ সমাবয়বতা বলে।* যেমন—

(a) C_2H_6O এই সংকেত দুটি ভিন্ন শ্রেণির যৌগে আছে।

(i) $H_3C—O—CH_3$ ডাই-মিথাইল ইথার—এর ফাংশনাল গ্রুপ হল (—O—)

(ii) $H_3C—CH_2—OH$ ইথাইল অ্যালকোহল—এর ফাংশনাল গ্রুপ হল OH

(b) C_3H_6O এই সংকেতের দুটি ভিন্ন যৌগ থাকতে পারে।

(i) $H_3C—CO—CH_3$ অ্যাসিটোন—এর ফাংশনাল গ্রুপ $>C{=}O$

(ii) $CH_3—CH_2—CHO$ প্রোপান্যাল—এর ফাংশনাল গ্রুপ —CHO

(4) মেটামেরিজম (Metamerism) ঃ একই সমগণীয় শ্রেণির যৌগগুলির মধ্যে বিশেষ এক ধরনের সমাবয়বতা দেখা যায়। *একই সমগণীয় শ্রেণির যৌগগুলির মধ্যে দ্বি-যোজী বা বহুযোজী পরমাণু বা গ্রুপ উপস্থিত থাকলে, ওই পরমাণু বা গ্রুপের সঙ্গো একই বা ভিন্ন ভিন্ন অ্যালকিল গ্রুপ যুক্ত হয়ে এই রকম সমাবয়বতার সৃষ্টি হয়।* 4টি বা 4টির বেশি C পরমাণুযুক্ত ইথারগুলি এই জাতীয় সমাবয়বতার সৃষ্টি করে।

$C_4H_{10}O$—এই আণবিক সংকেতের তিনটি ইথার আছে। যেমন—(1) ডাই ইথাইল ইথার ($CH_3CH_2—O—CH_2CH_3$)

(2) মিথাইল প্রোপাইল ইথার ($CH_3—O—CH_2CH_2CH_3$)

(3) মিথাইল আইসো প্রোপাইল ইথার $CH_3—\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}H}—O—CH_3$

প্রতিক্ষেত্রে দ্বিযোজী অক্সিজেন পরমাণুর সঙ্গো বিভিন্ন অ্যালকিল মূলক যুক্ত হয়ে এরকম সমাবয়বী সৃষ্টি করে।

কোনো দ্বিযোজী অক্সিজেন পরমাণুর সঙ্গো বিভিন্ন অ্যালকিল গ্রুপ যুক্ত হয়ে একই আণবিক সংকেত বিশিষ্ট একই সমগোত্র শ্রেণির একাধিক যৌগ উৎপন্ন হয়ে যে সমাবয়বতার সৃষ্টি হয় তাকে মেটামেরিজম (Metamerism) **বলে।** এইরকম পারস্পরিক সম্বন্ধযুক্ত যৌগগুলিকে পরস্পরের **মেটামেরিক যৌগ** বা **মেটামার** (Metamer) বলে।

কিটোন, অ্যামিন এবং **ইথার** যৌগের ক্ষেত্রে এই ধরনের আইসোমেরিজম থাকলেও, মেটামেরিজম কেবলমাত্র ইথার যৌগের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য হয়। **অন্যান্য একই সমগোত্র শ্রেণির যৌগের ক্ষেত্রে এই ধরনের সমাবয়বতাকে অবস্থানগত সমাবয়বতা** বলা হয়।

3.9. জৈব যৌগের মধ্যে কয়েকটি বিশেষ মৌলের (N, Cl, Br, I এবং S) উপস্থিতির পরীক্ষা [Detection of special elements (N, Cl, Br, I and S) in organic compounds]

কোনো জৈব যৌগের আণবিক গঠন প্রকৃতি জানতে হলে প্রথম কাজই হল বিশুদ্ধ অবস্থায় যৌগটির গুণগত বিশ্লেষণ করা অর্থাৎ পরীক্ষাধীন যৌগটির মধ্যে উপস্থিত বিভিন্ন মৌলগুলির উপস্থিতির পরীক্ষা। জৈব যৌগের মধ্যে যে মৌলটি সর্বদা উপস্থিত থাকেই তা হল কার্বন এবং হাইড্রোজেন।

[1] কার্বন ও হাইড্রোজেনের উপস্থিতির পরীক্ষা ঃ

নীতি ঃ পরীক্ষাধীন জৈব যৌগটিকে একটি হার্ড গ্লাস টেস্টটিউবের মধ্যে নিয়ে ওর সাথে **কিউপ্রিক অক্সাইড** মিশিয়ে মিশ্রণ উত্তপ্ত করলে, জৈব যৌগের মধ্যস্থ কার্বন, CuO-এর অক্সিজেনের সাথে যুক্ত হয়ে CO_2-তে পরিণত হয় এবং হাইড্রোজেন, CuO দ্বারা জারিত হয়ে জলে পরিণত হয়।

$$C + 2CuO \rightarrow CO_2\uparrow + 2Cu \quad ; \quad 2H + CuO \rightarrow H_2O + Cu$$

নির্গত CO_2 স্বচ্ছ চুনজলকে ঘোলা করে এবং জলীয় বাষ্প অনার্দ্র সাদা $CuSO_4$-কে নীল বর্ণে পরিণত করে।

$$\underset{\text{চুনজল}}{Ca(OH)_2} + CO_2 = \underset{\text{ঘোলা চুনজল}}{CaCO_3\downarrow} + H_2O \quad ; \quad \underset{\text{সাদা}}{CuSO_4} + 5H_2O \rightarrow \underset{\text{নীলবর্ণ}}{CuSO_4, 5H_2O}$$

পদ্ধতি ঃ পরীক্ষাধীন শুষ্ক ও বিশুদ্ধ জৈব যৌগটির সামান্য পরিমাণ হার্ড গ্লাস টেস্টটিউবে নিয়ে ওর সাথে প্রায় ওর 5 থেকে 6 গুণ পরিমাণ শুষ্ক ও বিশুদ্ধ CuO-এর চূর্ণ যোগ করা হল (চিত্র 3.8)। টেস্টটিউবের মুখে কর্কের মধ্য দিয়ে একটি কাচের বাল্‌বযুক্ত নির্গমনল (চিত্রে যেমন দেখানো হয়েছে) যোগ করে, নির্গম-নলের শেষ প্রান্তটিকে, অন্য একটি টেস্টটিউবে রাখা **স্বচ্ছ চুনজলের** মধ্যে ডোবানো থাকে। বাল্‌বটির মধ্যে গ্লাসউলের উপরে **অনার্দ্র সাদা $CuSO_4$** রাখা থাকে। হার্ড গ্লাস টেস্টটিউবকে উত্তপ্ত করলে নির্গত CO_2 চুনজলকে ঘোলা করে এবং নির্গত জলীয় বাষ্প, নির্গম-নলের সঙ্গে যুক্ত বাল্‌বটির মধ্যে শীতল ও ঘনীভূত হয়ে জলে পরিণত হয়। উৎপন্ন এই জল অনার্দ্র সাদা $CuSO_4$-এর সঙ্গে যুক্ত হয়ে নীল বর্ণের $CuSO_4, 5H_2O$ উৎপন্ন করে।



চিত্র 3.8 ঃ C এবং H-এর উপস্থিতির পরীক্ষা

[2] বিশেষ মৌলের শনাক্তকরণ—ল্যাসাইনের পদ্ধতি ঃ

ল্যাসাইনের নির্যাস প্রস্তুতি ঃ একটি ছোটো শুষ্ক গলন টিউবের (নরম কাচের তৈরি) মধ্যে ছোটো এক টুকরো সোডিয়াম ধাতু নিয়ে বার্নারে উত্তপ্ত করা হল। সোডিয়াম গলে চক্‌চকে গুটিতে পরিণত হলে, টেস্টটিউবকে বার্নার থেকে সরিয়ে প্রদত্ত জৈব যৌগের নমুনাটির খুব সামান্য পরিমাণ নিয়ে ওই গলিত সোডিয়ামের সাথে যোগ করে টেস্টটিউবটিকে তীব্রভাবে 3-4 মিনিট ধরে উত্তপ্ত করা হল। একটি পোর্সেলিনের খলে (mortar) 10 ml পাতিত জল নিয়ে ওই জলের মধ্যে লোহিততপ্ত অবস্থায় থাকা টেস্টটিউবটির নীচের অংশ ডোবানো হল। এর ফলে উত্তপ্ত টেস্টটিউবটির নীচের অংশ ঠান্ডা জলের সংস্পর্শে ফেটে যাবে। এরপর নুড়ির (pestle) সাহায্যে ভাঙ্গা অংশটি ভালো করে গুঁড়িয়ে নেওয়া হল। এই মিশ্রণটি ফিলটার করা হল এবং **পরিস্রুতটি হল ল্যাসাইন নির্যাস**—এই নির্যাসটিকে নিয়ে নীচের পরীক্ষাগুলি করা হল।

লোহিততপ্ত টেস্টটিউবটিকে জলে ডোবানোর সময় সতর্কতা নেওয়া প্রয়োজন কারণ লোহিততপ্ত অবস্থায় গলিত অবিকৃত সোডিয়াম ধাতু জলের সাথে বিক্রিয়া করে সোডিয়াম হাইড্রক্সাইডে পরিণত হবে। $2Na + 2H_2O = 2NaOH + H_2\uparrow$। পরিস্রুতটি পরিষ্কার, স্বচ্ছ ও ক্ষারীয় হতে হবে। যদি প্রাপ্ত পরিস্রুতটি ঘোলা ও রঙিন হয়, তাহলে সমগ্র গলন প্রক্রিয়াটিকে আবার প্রথম থেকে করতে হবে।

পরীক্ষা	পর্যবেক্ষণ	সিদ্ধান্ত
পরিস্রুতের এক অংশ টেস্টটিউবে নিয়ে সদ্য প্রস্তুত $FeSO_4$ দ্রবণ মিশিয়ে ধীরে ধীরে উত্তপ্ত করে ফোটানো হল এবং ঠান্ডা করে লঘু H_2SO_4 যোগ করে আম্লিক করা হল।	গাঢ় নীল বর্ণের অধঃক্ষেপ বা দ্রবণের রং গাঢ় নীল বা সবুজাভ নীল বর্ণের হল। (প্রুশিয়ান ব্লু)	নিশ্চিতরূপে নাইট্রোজেন (N) উপস্থিত।

বিক্রিয়া ঃ জৈব যৌগে উপস্থিত কার্বন এবং নাইট্রোজেন, সোডিয়ামের সঙ্গে বিক্রিয়া করে সোডিয়াম সায়ানাইড লবণে পরিণত হয়। অপরিবর্তিত Na জলের সঙ্গে বিক্রিয়া করে NaOH উৎপন্ন করে।

$$Na + \boxed{C + N} = NaCN$$
(জৈব যৌগ থেকে)

$$2Na + 2H_2O = 2NaOH + H_2$$
$$FeSO_4 + 2NaOH = Fe(OH)_2\downarrow + Na_2SO_4$$
$$2NaCN + Fe(OH)_2 = [Fe(CN)_2] + 2NaOH$$
$$2NaCN + FeSO_4 = Fe(CN)_2 + Na_2SO_4$$
$$Fe(CN)_2 + 4NaCN = Na_4[Fe(CN)_6]$$
(Na ফেরো সায়ানাইড)

$$3Na_4[Fe(CN)_6] + 4FeCl_3 = Fe_4[Fe(CN)_6]_3 + 12NaCl$$
(ফেরিক ফেরো সায়ানাইড (প্রুশিয়ান ব্লু))

ল্যাবরেটরিতে রাখা $FeSO_4$ বায়ুর O_2 দ্বারা আংশিকভাবে জারিত হয়ে ফেরিক সালফেটে পরিণত হয়।

[নাইট্রোজেনের উপস্থিতির পরীক্ষা ঃ যদি প্রদত্ত নমুনাটির মধ্যে সালফার উপস্থিত থাকে, তাহলে ল্যাসাইনের নির্যাসের সঙ্গে $FeSO_4$ যোগ করার সঙ্গে সঙ্গে কালো রঙের ফেরাস সালফাইড অধঃক্ষিপ্ত হবে। এক্ষেত্রে সাধারণত ওই কালো অধঃক্ষেপটিকে সম্পূর্ণ করার পর ফিলটার করে অধঃক্ষেপটিকে পৃথক করার পর ল্যাসাইন নির্যাসের যে পরিস্রুতটি পাওয়া যায় তাকে নিয়েই নাইট্রোজেনের উপস্থিতির পরীক্ষাটি করতে হবে।]

[3] সালফারের উপস্থিতির পরীক্ষা ঃ নমুনা জৈব যৌগটিতে সালফার উপস্থিত থাকলে ল্যাসাইন নির্যাসের মধ্যে তা সোডিয়াম সালফাইড রূপে উপস্থিত থাকে $2Na + S = Na_2S$।

সুতরাং নমুনা জৈব যৌগের মধ্যে সালফারের উপস্থিতি জানার জন্য নির্যাসটিকে নিয়ে নীচের পরীক্ষাগুলি করা হল।

পরীক্ষা	পর্যবেক্ষণ	সিদ্ধান্ত
(i) সোডিয়াম নাইট্রোপ্রুসাইড পরীক্ষা—ল্যাসাইন নির্যাসের এক অংশ টেস্টটিউবে নিয়ে ওর সাথে সদ্য প্রস্তুত সোডিয়াম নাইট্রোপ্রুসাইড দ্রবণ যোগ করা হল।	দ্রবণটির বর্ণ গাঢ় বেগুনি বর্ণের হয়।	জৈব যৌগটিতে নিশ্চিত রূপে সালফার উপস্থিত— $Na_2S + Na_2[Fe(CN)_5NO] \rightarrow Na_4[Fe(CN)_5NOS]$ বেগুনি বর্ণের দ্রবণ
(ii) লেড অ্যাসিটেট পরীক্ষা—ল্যাসাইন নির্যাসের কিছু অংশ আবার একটি টেস্টটিউবে নিয়ে দ্রবণটির সাথে অ্যাসেটিক অ্যাসিড যোগ করে দ্রবণটিকে আম্লিক করার পর ওর সাথে কয়েক ফোঁটা লেড অ্যাসিটেট দ্রবণ যোগ করা হল।	কালো অধঃক্ষেপ পড়ার জন্য দ্রবণটির বর্ণ কালো হয়ে গেল।	নিশ্চিত রূপে নমুনা জৈব যৌগটিতে সালফার উপস্থিত। অধঃক্ষেপটি কালো বর্ণের লেড সালফাইড লবণের। $Na_2S + Pb(CH_3COO)_2 \rightarrow PbS\downarrow + 2CH_3COONa$ কালো

[4] হ্যালোজেনের উপস্থিতির পরীক্ষা ঃ নমুনা জৈব যৌগটির মধ্যে কোনো হ্যালোজেন উপস্থিত থাকলে, ওই হ্যালোজেন, লোহিত তপ্ত অবস্থায় গলিত সোডিয়াম ধাতুর সাথে যুক্ত হয়ে সোডিয়াম হ্যালাইডে পরিণত হয়। ল্যাসাইন নির্যাসের কিছু পরিমাণ টেস্টটিউবে নিয়ে লঘু HNO_3 দ্রবণ যোগ করে দ্রবণটিকে আম্লিক করে দ্রবণটিকে বার্নারে রেখে তাপ প্রয়োগে বাষ্পীভূত করে, এর আয়তন পূর্বের আয়তনের অর্ধেক করা হল। এর ফলে জৈব যৌগের নমুনাটিতে N কিংবা S উপস্থিত থাকলে, তা HCN ও H_2S রূপে বেরিয়ে যায়। এইভাবে প্রাপ্ত অবশেষ দ্রবণটির সাথে ওর সমআয়তন পাতিত জল মিশিয়ে উৎপন্ন দ্রবণটিকে নিয়ে নীচের পরীক্ষাগুলি করা হল—

পরীক্ষা	পর্যবেক্ষণ	সিদ্ধান্ত
(i) দ্রবণটির কিছু অংশ একটি টেস্টটিউবে নিয়ে ওর সাথে সমান পরিমাণ সিলভার নাইট্রেট দ্রবণ যোগ করা হল।	থকথকে (সাদা/হলুদ বর্ণের) অধঃক্ষেপ পড়ে।	জৈব যৌগটিতে ক্লোরিন, ব্রোমিন অথবা আয়োডিন থাকতে পারে। $Na + X \rightarrow NaX$ [X = Cl, Br, I] $NaX + AgNO_3 \rightarrow AgX\downarrow + NaNO_3$ সাদা/হলুদ
(a) উৎপন্ন অধঃক্ষেপটির বর্ণ সাদা হলে, ওর সাথে অতিরিক্ত পরিমাণ NH_4OH দ্রবণ যোগ করা হল।	সাদা থকথকে অধঃক্ষেপটি সঙ্গে সঙ্গে দ্রবীভূত হয়ে স্বচ্ছ দ্রবণে পরিণত হয়।	জৈব যৌগের নমুনাটিতে নিশ্চিতরূপে ক্লোরিন উপস্থিত। $NaCl + AgNO_3 = AgCl\downarrow + NaNO_3$ সাদা অধঃক্ষেপ
(b) উৎপন্ন অধঃক্ষেপটির **বর্ণ ফিকে হলুদ** বর্ণের হলে, এর সাথে অতিরিক্ত এবং গাঢ় NH_4OH দ্রবণ যোগ করা হল।	ফিকে হলুদ অধঃক্ষেপটি সম্পূর্ণ দ্রবীভূত হয়ে স্বচ্ছ দ্রবণ উৎপন্ন করে।	জৈব যৌগের নমুনাটিতে ব্রোমিন উপস্থিত। $NaBr + AgNO_3 = AgBr\downarrow + NaNO_3$
(c) উৎপন্ন অধঃক্ষেপটির বর্ণ উজ্জ্বল হলুদ বর্ণের হলে এর সাথে অতিরিক্ত পরিমাণ গাঢ় NH_4OH দ্রবণ যোগ করা হল।	হলুদ বর্ণের অধঃক্ষেপটি দ্রবীভূত হল না।	জৈব যৌগের নমুনাটিতে আয়োডিন উপস্থিত। $NaI + AgNO_3 = AgI\downarrow + NaNO_3$ AgI অতিরিক্ত গাঢ় NH_4OH দ্রবণে দ্রবীভূত হয় না।

জৈব যৌগের নমুনাটিতে ব্রোমিন বা আয়োডিনের উপস্থিতি সম্বন্ধে আরও নিশ্চিত হওয়ার জন্য নীচের পরীক্ষাগুলি করা হল—

ল্যাসাইন নির্যাসের কিছু অংশ একটি টেস্টটিউবে নিয়ে ওর সাথে HNO_3 যোগ করে অম্লায়িত করা হল। যদি নির্যাসে N এবং S উপস্থিত থাকে, তাহলে ওই মিশ্রণটিকে ফুটানো হল তারপর ঠান্ডা করে পরীক্ষাগুলি করা হল। টেস্টটিউবের অম্লায়িত দ্রবণের সাথে কয়েক ফোঁটা ক্লোরিন জল যোগ করে ওর সাথে কিছু পরিমাণ কার্বনটেট্রা ক্লোরাইড (CCl_4) বা কার্বন ডাইসালফাইড (CS_2) যোগ করে মিশ্রণটিকে খুব ভাল করে নাড়া হল। এর ফলে দ্রবণে থাকা মুক্ত ব্রোমিন বা আয়োডিন CCl_4 বা CS_2-তে দ্রবীভূত হয়ে জলীয় দ্রবণ থেকে পৃথক স্তর গঠন করবে। এর ফলে জৈব তরলের স্তরটির বর্ণ লালচে বাদামি হলে বুঝতে হবে ব্রোমিন উপস্থিত এবং জৈব তরলের স্তরটির বর্ণ বেগুনি বর্ণের হলে বুঝতে হবে আয়োডিন উপস্থিত আছে।

বিক্রিয়া ঃ $2NaBr + Cl_2 \rightarrow 2NaCl + \underset{\text{লালচে বাদামি } CCl_4\text{-এর স্তর}}{Br_2}$; $2NaI + Cl_2 \rightarrow 2NaCl + \underset{CCl_4 \text{ স্তরের বর্ণ বেগুনি}}{I_2}$

● **জৈব যৌগের নমুনায় হ্যালোজেনের উপস্থিতির পরীক্ষায় HNO_3-এর ভূমিকা ঃ** যদি জৈব যৌগটির নমুনাটিতে হ্যালোজেনের সাথে নাইট্রোজেন এবং সালফার উপস্থিত থাকে, তাহলে ল্যাসাইন নির্যাসটিতে সোডিয়াম হ্যালাইডের সাথে Na_2S এবং NaCN-ও উপস্থিত থাকবে। এর ফলে ওই নির্যাসের সাথে $AgNO_3$ দ্রবণ যোগ করলে সিলভার হ্যালাইডের অধঃক্ষেপের সাথে NaCN উপস্থিত থাকলে সিলভার সায়ানাইডের সাদা অধঃক্ষেপ (AgCN) উৎপন্ন করবে এবং Na_2S উপস্থিত থাকলে সিলভার সালফাইডের কালো রঙের অধঃক্ষেপ উৎপন্ন করবে। এর ফলে ল্যাসাইন নির্যাসের হ্যালাইডের উপস্থিতি পরীক্ষায় বাধার সৃষ্টি করে।

$NaCN + AgNO_3 = \underset{\text{সাদা অধঃক্ষেপ}}{AgCN\downarrow} + NaNO_3$, $Na_2S + 2AgNO_3 = \underset{\text{কালো অধঃক্ষেপ}}{Ag_2S\downarrow} + 2NaNO_3$

তাই হ্যালাইডের পরীক্ষা করার আগে নির্যাসটিকে লঘু HNO_3-এর সাথে মিশিয়ে ফোটানো হয়। এর ফলে NaCN থেকে উৎপন্ন উদ্বায়ী HCN গ্যাস এবং Na_2S থেকে উৎপন্ন উদ্বায়ী H_2S, দ্রবণ থেকে বেরিয়ে যায়।

$NaCN + HNO_3 = NaNO_3 + HCN\uparrow$, $Na_2S + 2HNO_3 = 2NaNO_3 + H_2S\uparrow$

3.10. পরিমাণগত বিশ্লেষণ [Quantitative analysis]

(1) জৈব যৌগে উপস্থিত কার্বন এবং হাইড্রোজেনের পরিমাণ নির্ণয় ঃ

লি-বিগ পদ্ধতির সাহায্যে একটিমাত্র পরীক্ষার দ্বারাই প্রদত্ত জৈব যৌগের নমুনায় উপস্থিত কার্বন এবং হাইড্রোজেনের পরিমাণ নির্ণয় করা যায়।

নীতি ঃ এই পদ্ধতিতে জৈব যৌগের নমুনাটিতে উপস্থিত কার্বন এবং হাইড্রোজেনকে পরিমাণগতভাবে যথাক্রমে কার্বন ডাইঅক্সাইডে এবং জলে জারিত করা হয়। একটি জৈব যৌগের জানা ভরকে একটি চুল্লির মধ্যে শুষ্ক কিউপ্রিক অক্সাইডের সঙ্গে শুষ্ক বায়ু বা O_2 গ্যাসের আবহাওয়ায় উত্তপ্ত করা হয়। এর ফলে কার্বন বায়ুর O_2-এর সাথে যুক্ত হয়ে CO_2-তে এবং হাইড্রোজেন CuO-কে বিজারিত করে নিজে H_2O-তে পরিণত হয়।

$$C + O_2 \xrightarrow{CuO} CO_2, \qquad 2H + O \xrightarrow{CuO} H_2O$$

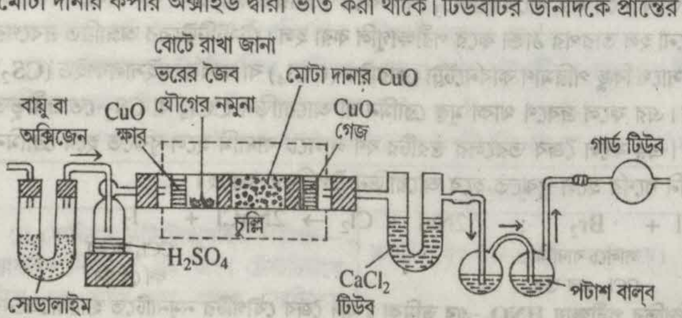
এইভাবে উৎপন্ন CO_2-কে পটাশ বাল্‌বে রাখা KOH দ্বারা শোষিত করা হয় এবং উৎপন্ন H_2O-কে ক্যালশিয়াম ক্লোরাইড টিউবে রাখা $CaCl_2$ দ্বারা শোষিত হয়। পরীক্ষার আগে KOH পূর্ণ পটাশ বাল্‌ব এবং $CaCl_2$ পূর্ণ ক্যালশিয়াম ক্লোরাইড টিউবের ওজন নেওয়া হয়। পরীক্ষার শেষে আবার KOH পূর্ণ পটাশ বাল্‌ব এবং $CaCl_2$ পূর্ণ U-টিউবটির ওজন নেওয়া হয়। পটাশ বাল্‌বের অন্তিম এবং প্রাথমিক ওজনের অন্তরফল থেকে উৎপন্ন CO_2-এর ভর পাওয়া যায় এবং $CaCl_2$ পূর্ণ U-টিউবের অন্তিম এবং প্রাথমিক ওজনের অন্তরফল থেকে উৎপন্ন জলের ভর পাওয়া যায়। এইভাবে জানা ভরের জৈব যৌগ থেকে উৎপন্ন CO_2 এবং H_2O-এর ওজন জেনে ওই যৌগে উপস্থিত কার্বন এবং হাইড্রোজেনের শতকরা পরিমাণ নির্ণয় করা যায়।

যন্ত্রপাতি ঃ লি-বিগ পদ্ধতিতে ব্যবহৃত যন্ত্রপাতির বর্ণনা নীচে দেওয়া হল—

(i) বায়ু বা O_2 সরবরাহের যন্ত্র— বায়ু বা O_2-কে প্রথমে একটি U-টিউবে রাখা সোডালাইমের মধ্য দিয়ে অতিক্রম করিয়ে বায়ু বা O_2-কে CO_2 মুক্ত করা হয়। এর পর বায়ু বা O_2-কে গাঢ় H_2SO_4-এর মধ্য দিয়ে অতিক্রম করিয়ে সম্পূর্ণ জলীয় বাষ্প মুক্ত করা হয়।

এইভাবে CO_2 এবং জলীয় বাষ্প থেকে সম্পূর্ণ মুক্ত বায়ু বা O_2-কে দহন নলের মধ্য দিয়ে চালনা করা হয়।

(ii) দহন নল—এটি হল 1 মিটার লম্বা এবং 0·5–1 সেমি ব্যাসার্ধের হার্ড গ্লাসের তৈরি একটি নল। এই টিউবটির বামদিকে একটি পোর্সেলিন বোটের মধ্যে জানা ওজনের জৈব যৌগের নমুনাটি রাখা থাকে। এর ডানদিকে দহন নলের বেশিরভাগ অংশ মোটা দানার কপার অক্সাইড দ্বারা ভর্তি করা থাকে। টিউবটির ডানদিকে প্রান্তের কাছে গোল করে গুটানো CuO-এর তৈরি গেজ রাখা থাকে। কোনো কার্বন বা হাইড্রোজেন জারিত না হওয়া অবস্থায় থাকলে CuO-এর এই উত্তপ্ত গেজের মধ্য দিয়ে অতিক্রম করলে জারিত হয়। সম্পূর্ণ দহন নলটি গ্যাস বার্নার বা তড়িৎ দ্বারা উত্তপ্ত করা হয়।



চিত্র 3.9 ঃ C এবং H-এর ওজনমাত্রিক পরিমাণ নির্ণয়

(iii) গ্যাস শোষক— উৎপন্ন CO_2 এবং H_2O-কে শোষণ করার জন্য নীচের শোষকগুলি ব্যবহার করা হয়।

(a) শুষ্ক ক্যালশিয়াম ক্লোরাইড টিউব—এই U-টিউবের মধ্য দিয়ে অতিক্রম কালে দহন নলে জৈব যৌগের বিয়োজনে উৎপন্ন জল $CaCl_2$ দ্বারা সম্পূর্ণ শোষিত হয়।

(b) পটাশ বাল্ব—কতকগুলি কাচের বাল্বের মধ্যে KOH দ্রবণ রাখা থাকে। এইগুলির মধ্য দিয়ে CO_2 অতিক্রমের সময় KOH দ্রবণ দ্বারা দহন-নলে উৎপন্ন CO_2 সম্পূর্ণভাবে শোষিত হয়।

(c) গার্ড টিউব—এটি শেষে থাকে। এর মধ্যে শুষ্ক $CaCl_2$ এবং সোডালাইম রাখা থাকে। এই টিউবটি বাইরের বায়ুর মধ্যে থাকা CO_2 এবং H_2O-কে পটাশ বাল্ব বা $CaCl_2$ পূর্ণ U-টিউবে যেতে বাধা দেয়। ভেতরে যাওয়ার আগেই গার্ডটিউবটি বাইরের বায়ুর মধ্যে থাকা CO_2 এবং H_2O-কে শোষণ করে নেয়।

(iv) পদ্ধতি ঃ জানা ওজনের জৈব যৌগের নমুনাটি নিয়ে একটি পোর্সেলিন বোটের মধ্যে নিয়ে বোটটিকে দহন নলের ভেতরে রাখা হল। শোষক যন্ত্রগুলির ($CaCl_2$ U-টিউব এবং পটাশ বাল্ব) ওজন নিয়ে দহন নলের সঙ্গে শোষক যন্ত্রগুলির সংযোগ করা হল। প্রথমে দহন নলটির মধ্যে শুষ্ক ও বিশুদ্ধ O_2 গ্যাস পাঠিয়ে ওর মধ্যস্থ বাতাসকে সম্পূর্ণ তাড়িয়ে গ্যাস বার্নারগুলি জ্বালিয়ে দহন নলটিকে উত্তপ্ত করা হল। বোটে রাখা জৈব যৌগটি বাষ্পভূত হয় এবং দহন নলে রাখা উত্তপ্ত CuO দ্বারা জারিত হয়ে জল এবং CO_2-তে পরিণত হয়। জৈব যৌগ থেকে এভাবে উৎপন্ন H_2O এবং CO_2 দহন নল থেকে বেরিয়ে আসে। জৈব যৌগ থেকে উৎপন্ন জল, U-টিউবে রাখা $CaCl_2$ দ্বারা সম্পূর্ণ শোষিত হয় এবং CO_2 পটাশ বাল্ব দ্বারা সম্পূর্ণভাবে শোষিত হয়। জৈব যৌগটির সম্পূর্ণটা বিয়োজিত হলে পর শোষক যন্ত্রগুলিকে দহন নল থেকে বিচ্ছিন্ন রাখা KOH ওদের ওজন নেওয়া হয়।

(v) গণনা ঃ $CaCl_2$ টিউবের ওজন বৃদ্ধি = জৈব যৌগ থেকে উৎপন্ন জলের ওজন।

পটাশ বাল্বের ওজন বৃদ্ধি = জৈব যৌগ থেকে উৎপন্ন CO_2-এর ওজন।

ধরি, গৃহীত জৈব যৌগের নমুনাটির ওজন = W g

উৎপন্ন CO_2-এর ওজন = x g এবং উৎপন্ন জলের ওজন = y g

(i) কার্বনের শতকরা পরিমাণ নির্ণয় ঃ

1 মোল পরিমাণ CO_2-এর মধ্যে কার্বনের পরিমাণ = 1 গ্রাম পরমাণু

অর্থাৎ 44 g CO_2-এর মধ্যে কার্বনের পরিমাণ 12 g

∴ x g " " " " $= \frac{12x}{44}$ g

তাহলে W g জৈব যৌগের নমুনাটিতে কার্বনের পরিমাণ $= \frac{12x}{44}$ g

100 g " " " " " $\frac{12x \times 100}{44 \times W}$ g

অর্থাৎ কার্বনের শতকরা পরিমাণ $= \boxed{\frac{12}{44} \times \frac{CO_2\text{-এর ওজন} \times 100}{\text{জৈব যৌগের ওজন}}}$

(ii) হাইড্রোজেনের শতকরা পরিমাণ নির্ণয় ঃ

1 মোল H_2O-এর মধ্যে হাইড্রোজেনের পরিমাণ = 2 g পরমাণু

বা, 18 g জলের মধ্যে হাইড্রোজেনের পরিমাণ = 2 g

$\therefore$ y g " " " $\frac{2y}{18}$ g

W g জৈব যৌগের নমুনাটিতে হাইড্রোজেনের পরিমাণ = $\frac{2y}{18}$ g

$\therefore$ 100 g " " " " " $\frac{2y \times 100}{18 \times W}$ g

অর্থাৎ **হাইড্রোজেনের শতকরা পরিমাণ** = $\boxed{\frac{2}{18} \times \frac{H_2O\text{-এর ওজন} \times 100}{\text{জৈব যৌগের ওজন}}}$

উদাহরণ ঃ *একটি জৈব যৌগে 60% কার্বন এবং 4·8% হাইড্রোজেন আছে যার অবশিষ্ট অংশ হল অক্সিজেন। যৌগটির 0·2 g-এর সম্পূর্ণ দহনে উৎপন্ন CO_2 এবং H_2O-এর পরিমাণ নির্ণয় করো।*

Ans. আমরা জানি % C = $\frac{12}{44} \times \frac{CO_2\text{-এর ওজন} \times 100}{\text{গৃহীত জৈব যৌগের ওজন}}$

মানগুলি বসিয়ে পাই, 60 = $\frac{12}{44} \times \frac{CO_2\text{-এর ওজন} \times 100}{0·2}$

বা, উৎপন্ন CO_2-এর ওজন = $\frac{60 \times 44 \times 0·2}{12 \times 100}$ = 0·44 g

% H = $\frac{2}{18} \times \frac{H_2O\text{-এর ওজন} \times 100}{\text{গৃহীত জৈব যৌগের ওজন}}$ বা, 4·8 = $\frac{2}{18} \times \frac{H_2O\text{-এর ওজন} \times 100}{0.2}$

বা, H_2O-এর ওজন = $\frac{4·8 \times 18 \times 0·2}{2 \times 100}$ = 0·0864 g

(2) জৈব যৌগে উপস্থিত নাইট্রোজেনের পরিমাণ নির্ণয় ঃ

জৈব যৌগের মধ্যে নাইট্রোজেনের পরিমাণ নির্ণয় করার জন্য দুটি খুব প্রচলিত পদ্ধতি হল—**(i) ডুমার পদ্ধতি, (ii) জেলডল পদ্ধতি।**

● **জেলডলের পদ্ধতি (Kjeldahl's method) ঃ**

(a) নীতি ঃ জানা ওজনের নাইট্রোজেন ঘটিত কোনো জৈব যৌগকে গাঢ় H_2SO_4 সহ উত্তপ্ত করলে, যৌগটির মধ্যে থাকা নাইট্রোজেন (N) পরিমাণগতভাবে অ্যামোনিয়াম সালফেটে পরিণত হয়। এইভাবে প্রাপ্ত অ্যামোনিয়াম সালফেট অতিরিক্ত NaOH দ্রবণ সহ পাতিত করলে মুক্ত অ্যামোনিয়া পাওয়া যায়। এইভাবে মুক্ত NH_3-কে জানা প্রমাণ দ্রবণের অতিরিক্ত পরিমাণের অ্যাসিড দ্রবণে চালনা করার পর অ্যামোনিয়ার সাথে বিক্রিয়া শেষে বাড়তি অ্যাসিডের পরিমাণ, ওই বাড়তি অ্যাসিডের সাথে 50 ml প্রমাণ NaOH দ্রবণ দ্বারা টাইট্রেশন করে জানা যায়। এর থেকে প্রমাণ H_2SO_4 দ্রবণের সাথে অ্যামোনিয়ার বিক্রিয়ায় ব্যবহৃত H_2SO_4-এর পরিমাণ জানা যায়। এর থেকেই ওই জৈব যৌগে উপস্থিত N_2-এর শতকরা পরিমাণ পাওয়া যায়।

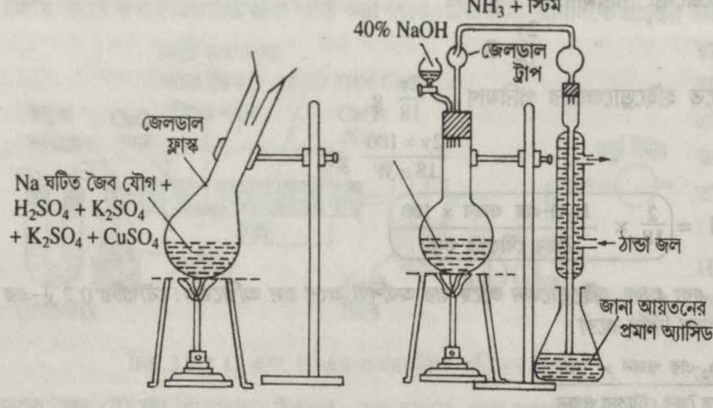
$$C + H + S + H_2SO_4 \rightarrow CO_2 + H_2O + SO_2, \quad N + H_2SO_4 \rightarrow (NH_4)_2SO_4$$

$$(NH_4)_2SO_4 + 2NaOH \rightarrow Na_2SO_4 + 2NH_3\uparrow + 2H_2O$$

$$2NH_3 + H_2SO_4 \rightarrow (NH_4)_2SO_4$$

(b) পদ্ধতি ঃ (i) অ্যামোনিয়াম সালফেট প্রস্তুতি ঃ (0·3 — 0·5) g ওজনের নিখুঁতভাবে ওজন করা জৈব যৌগের সাথে প্রায় 10 g পটাশিয়াম। সালফেট এবং 25 ml গাঢ় H_2SO_4 এবং কয়েকটি $CuSO_4$ কেলাসকে একটি লম্বা গলাবিশিষ্ট বিশেষ ধরনের তৈরি জেলডাল ফ্লাস্কের মধ্যে নিয়ে মিশ্রণটিকে উত্তপ্ত করা হয়। গাঢ় H_2SO_4-এর স্ফুটনাঙ্ক বৃদ্ধি করার জন্য এই মিশ্রণে K_2SO_4 যোগ করা হয় এবং $CuSO_4$-এর উপস্থিতি অনুঘটকের কাজ করে। প্রথম থেকে উৎপন্ন বাদামি বর্ণের গ্যাসের নির্গমন বন্ধ না হওয়া পর্যন্ত তাপ প্রয়োগ করা হয়। NO_2 গ্যাসের নির্গমন বন্ধ হলে পর ফ্লাস্কের তরলটি স্বচ্ছ ও পরিষ্কার হয়। এই অবস্থায় জৈব যৌগের মধ্যস্থ নাইট্রোজেন (N)-এর অ্যামোনিয়াম সালফেটে পরিণত হওয়া সম্পূর্ণ হয়।

(ii) অ্যামোনিয়া গ্যাসের নির্গমন ও H_2SO_4 দ্রবণ দ্বারা NH_3 গ্যাসের শোষণ—জেলডাল ফ্লাস্কটি ঠান্ডা করে ওর মধ্যস্থ তরলটিকে লঘু করার পর 1 লিটার আয়তনের গোলতল ফ্লাস্কের মধ্যে ঢালা হয়—সম্পূর্ণটা ঢালার পর পাত্রটিকে পাতিত জল দ্বারা ধৌত করে ধৌত তরলটিকেও ওই বড়ো ফ্লাস্কে ঢালা হয়। এই তরলের মিশ্রণে 40% কস্টিক সোডা দ্রবণ যোগ করে ফ্লাস্কটির মুখে কর্কের মধ্য দিয়ে একটি **জেলডাল ট্রাপ** যুক্ত নির্গম নল যোগ করে নির্গম নলের শেষ প্রান্তটির সাথে খাড়া অবস্থায় রাখা একটি লিবিগ শীতক যোগ করা হয়। লিবিগ শীতকের শেষ প্রান্তটিকে একটি কনিক্যাল ফ্লাস্কের মধ্যে রাখা প্রমাণ H_2SO_4 দ্রবণের অতিরিক্ত পরিমাণের মধ্যে ডোবানো থাকে। ফ্লাস্কটিকে উত্তপ্ত করলে অ্যামোনিয়া গ্যাস নির্গত হয়। এই নির্গত NH_3 গ্যাসকে প্রমাণ H_2SO_4 দ্রবণে চালনা করা হয়।



চিত্র 3.10

(iii) অতিরিক্ত অ্যাসিডের টাইট্রেশন—অ্যামোনিয়ার সাথে অতিরিক্ত প্রমাণ H_2SO_4-এর বিক্রিয়ায় কিছু পরিমাণ বাড়তি প্রমাণ H_2SO_4 দ্রবণ বিক্রিয়া না করা অবস্থায় থেকে যায়। এই বাড়তি অ্যাসিডের পরিমাণ, প্রমাণ NaOH দ্রবণের সাথে ওই বাড়তি অ্যাসিডের টাইট্রেশন দ্বারা জানা যায়।

গণনা ঃ ধরি, গৃহীত জৈব যৌগটির ওজন = W g

N_1 নর্ম্যালিটির প্রমাণ H_2SO_4 দ্রবণের আয়তন = V ml

প্রমাণ NaOH দ্রবণের আয়তন যা বাড়তি প্রমাণ H_2SO_4 দ্রবণকে প্রশমিত করে v ml

যেহেতু অ্যাসিড এবং ক্ষার পরস্পরকে তুল্যাঙ্ক অনুপাতে প্রশমিত করে, সুতরাং N_1 নর্ম্যালিটির অ্যাসিড দ্রবণের আয়তন যা অ্যামোনিয়াকে প্রশমিত করে = $(V - v)$ ml = x ml ধরি।

এখন নর্ম্যাল দ্রবণের সংজ্ঞানুসারে— 1000 ml $1N_1$ $NH_3 \equiv 17$ g NH_3-এর দ্রবণ $\equiv 14$ g নাইট্রোজেন N

$$\therefore \quad x \text{ ml } 1N_1\, NH_3 \equiv \frac{14}{1000} \times x \times N_1 \text{ g নাইট্রোজেন}$$

$$\text{সুতরাং নাইট্রোজেনের শতকরা পরিমাণ} = \frac{14 \times x \times N_1}{1000} \times \frac{100}{W} = \frac{1{\cdot}4 \times N_1 \times x}{W}$$

$$= \frac{1{\cdot}4 \times \text{অ্যাসিডের নর্ম্যালিটি} \times NH_3\text{-এর জন্য ব্যয়িত অ্যাসিডের আয়তন}}{\text{গৃহীত জৈব যৌগের ওজন}}$$

দ্রষ্টব্য ঃ বিভিন্ন খাদ্য, ওষুধে এবং সারের মধ্যে নাইট্রোজেন (N)-এর পরিমাণ নির্ণয়ে এই পদ্ধতিটির ব্যবহার প্রচুর হয়। তবে নাইট্রোজেনের বৃত্তাকার যৌগের ক্ষেত্রে যেমন পিরিডিন এবং যে জৈব যৌগগুলির মধ্যে নাইট্রো এবং ডায়াজো (—N═N—) গ্রুপ থাকে, সেই সব যৌগগুলির ক্ষেত্রে এই পদ্ধতি প্রযোজ্য নয়।

(3) হ্যালোজেনের পরিমাণ নির্ণয় ঃ জৈব যৌগে হ্যালোজেন যেমন ক্লোরিন, ব্রোমিন এবং আয়োডিনের পরিমাণ **ক্যারিয়াস** (Carius) **পদ্ধতিতে** নির্ণয় করা হয়।

নীতি ঃ প্রথমে জানা ওজনের জৈব যৌগকে ফিউমিং নাইট্রিক অ্যাসিড ও সিলভার নাইট্রেট কেলাসের কয়েকটি দানা সহ একটি বন্ধ টিউবের মধ্যে উত্তপ্ত করা হয়। এই বন্ধ টিউবটিকে **ক্যারিয়াস টিউব** বলে। এইভাবে উত্তপ্ত করায় জৈব যৌগের মধ্যস্থ C, H এবং S জারিত হয়ে যথাক্রমে CO_2, H_2O এবং SO_2-তে পরিণত হয় কিন্তু যৌগের মধ্যস্থ হ্যালোজেনগুলি সিলভার নাইট্রেটের সাথে বিক্রিয়া করে সিলভার হ্যালাইডের অধঃক্ষেপ উৎপন্ন করে। উৎপন্ন সিলভার হ্যালাইডকে ফিলটার করে সংগ্রহ করে জল দিয়ে ধৌত করার পর সম্পূর্ণ শুষ্ক করে ওর ওজন নেওয়া হয়। সিলভার হ্যালাইডের ওজন থেকে যৌগটিতে উপস্থিত হ্যালোজেনের শতকরা পরিমাণ পাওয়া যায়।

গণনা ঃ গৃহীত জৈব যৌগের ওজন = W g, উৎপন্ন সিলভার হ্যালাইডের (AgX) ওজন = y g

তাহলে AgX $\equiv$ X (X = হ্যালোজেন পরমাণু)

(108 + X) ভাগ ওজন (X-ভাগ ওজন) $RCOOAg \xrightarrow{\Delta} Ag + [H_2O + CO_2]$

(108 + X-এর পাঃ ভর) ভাগ ওজনের AgX-এর মধ্যে (X-এর পাঃ ভর) ভাগ ওজনের X থাকে।

$\therefore$ y g AgX-এর মধ্যে হ্যালোজেনের পরিমাণ = $\dfrac{\text{X-এর পাঃ ভর}}{(108 + X)} \times y$ g

সুতরাং যৌগটিতে হ্যালোজেনের শতকরা পরিমাণ = $\dfrac{\text{X-এর পাঃ ভর}}{\text{108 + X-এর পাঃ ভর}} \times y \times \dfrac{100}{W}$

3.11. জৈব যৌগের আণবিক ভর নির্ণয় [Determination of molecular mass]

(1) সিলভার লবণ পদ্ধতি ঃ

(a) নীতি ঃ জৈব অ্যাসিডগুলির আণবিক ভর এই পদ্ধতির সাহায্যে নির্ণয় করা হয়। জৈব অ্যাসিডের সাথে সিলভার নাইট্রেটের বিক্রিয়ায় অ্যাসিডটির সিলভার লবণ উৎপন্ন করা হয়। এইভাবে প্রাপ্ত লবণটিকে তীব্রভাবে উত্তপ্ত Ag ধাতুতে পরিণত করা হয়। ধাতব সিলভারের ওজন এবং অ্যাসিডটির ক্ষারগ্রাহিতা জেনে, জৈব যৌগটির আণবিক ভর নির্ণয় করা হয়।

$$RCOOH + AgNO_3 \longrightarrow \underset{\text{সিলভার লবণ}}{RCOOAg} + HNO_3\,; \quad RCOOAg \xrightarrow{\Delta} Ag + [H_2O + CO_2]$$

(b) গণনা ঃ উৎপন্ন সিলভার লবণের ওজন = W g. উৎপন্ন ধাতব Ag-এর ওজন = x g

সুতরাং $\dfrac{\text{Ag লবণের তুল্যাঙ্কভার}}{\text{ধাতব Ag-এর তুল্যাঙ্কভার}} = \dfrac{\text{সিলভার লবণের ওজন}}{\text{ধাতব Ag-এর ওজন}}$

সিলভারের তুল্যাঙ্কভার = 108. সুতরাং মানগুলি বসিয়ে, $\dfrac{\text{Ag লবণের তুল্যাঙ্কভার}}{108} = \dfrac{W}{x}$

$\therefore$ Ag লবণের তুল্যাঙ্কভার = $\dfrac{108 \times W}{x} = E$ (ধরি)। $\underset{\text{জৈব অ্যাসিড}}{RCOOH} \xrightarrow{Ag^+} \underset{\text{সিলভার লবণ}}{RCOOAg}$

জৈব অ্যাসিডের তুল্যাঙ্কভার = সিলভার লবণের তুল্যাঙ্কভার − Ag-এর তুল্যাঙ্কভার + হাইড্রোজেনের তুল্যাঙ্কভার

$= E - 108 + 1 = E - 107$ (H-এর তুল্যাঙ্কভার = 1)

জৈব অ্যাসিডটির আণবিক ভর = তুল্যাঙ্কভার × ক্ষারগ্রাহিতা

$= (E - 107) \times n$ (n = জৈব অ্যাসিডের ক্ষারগ্রাহিতা) = $\left[\dfrac{108 \times W}{x} - 107\right] \times n$

(2) ক্লোরোপ্ল্যাটিনেট পদ্ধতি (Chloroplatinate method) ঃ

(a) নীতি ঃ আণবিক ভর নির্ণয়ের এই পদ্ধতিটি জৈব ক্ষারকগুলির ক্ষেত্রে প্রযোজ্য।

প্রথমে অতিরিক্ত গাঢ় HCl-এর সাথে একটি জৈব ক্ষারককে দ্রবীভূত করে উৎপন্ন দ্রবণে প্ল্যাটিনিক ক্লোরাইড ($PtCl_4$) দ্রবণ যোগ করলে, জৈব ক্ষারকটির প্ল্যাটিনিক ক্লোরাইড লবণ অধঃক্ষিপ্ত হয়। প্রাপ্ত অধঃক্ষেপটিকে ধৌত ও শুষ্ক করে ক্লোরো-প্ল্যাটিনেট লবণটিকে তীব্রভাবে উত্তপ্ত করলে ধাতব প্ল্যাটিনাম উৎপন্ন হয়। এইভাবে প্রাপ্ত প্ল্যাটিনাম ধাতুর ওজন থেকে, জৈব ক্ষারকটির আণবিক ভর নির্ণয় করা হয়।

$$\underset{\text{জৈব ক্ষারক}}{B} + HCl \longrightarrow \underset{\text{জৈব ক্ষারকের হাইড্রোক্লোরাইড লবণ}}{B.HCl}$$

$$2B.HCl + \underset{\text{প্ল্যাটিনিক ক্লোরাইড}}{PtCl_4} \longrightarrow \underset{\text{ক্লোরো প্ল্যাটিনেট (অধঃক্ষিপ্ত হয়)}}{B_2H_2PtCl_6\downarrow}$$

$$B_2H_2PtCl_6 \xrightarrow[\Delta]{} Pt \text{ (ধাতু)}$$

(b) গণনা ঃ যেহেতু ক্লোরো প্ল্যাটিনিক অ্যাসিডের ক্ষারগ্রাহিতা = 2। সুতরাং এই অ্যাসিড জৈব ক্ষারকের 2 তুল্যাঙ্ক পরিমাণের সঙ্গে যুক্ত হয়।

ধরি, উৎপন্ন ক্লোরো প্ল্যাটিনেটের ওজন = W g। অধঃক্ষিপ্ত ধাতব প্ল্যাটিনামের ওজন = x g

এখন, এক অণু $B_2H_2PtCl_4 \equiv 1$ পরমাণু Pt

অর্থাৎ এক গ্রাম অণু পরিমাণ $B_2H_2PtCl_4$-এর মধ্যে থাকে 1 গ্রাম পরমাণু Pt।

সুতরাং $\dfrac{\text{ক্লোরো প্ল্যাটিনেটের আণবিক ভর}}{\text{প্ল্যাটিনামের পারমাণবিক ভর}} = \dfrac{\text{ক্লোরো প্ল্যাটিনেটের ওজন}}{\text{প্ল্যাটিনাম ধাতুর ওজন}}$

ক্লোরো প্ল্যাটিনেটের আণবিক ভর ($B_2H_2PtCl_4$) = $2B + 2 + 195 + 6 \times 35{\cdot}5 = 2B + 410$

(যেখানে B = ক্ষারকটির 1 তুল্যাঙ্ক)

$$\therefore \frac{2B+410}{195} = \frac{W}{x} \quad \text{বা, } B = \frac{1}{2}\left[\frac{W}{x} \times 195 - 410\right]$$

সুতরাং জৈব ক্ষারকটির আণবিক ভর = $B \times n$ (n = ক্ষারকটির অম্লগ্রাহিতা)

(3) ভিক্টর মেয়ার পদ্ধতিতে আণবিক গুরুত্ব নির্ণয় ঃ পরীক্ষাগারে **উদ্‌বায়ী তরল পদার্থের** আণবিক গুরুত্ব নির্ণয় করার যতগুলি পদ্ধতি আছে, তাদের মধ্যে সবচেয়ে সহজ পদ্ধতি হল ভিক্টর মেয়ার পদ্ধতি।

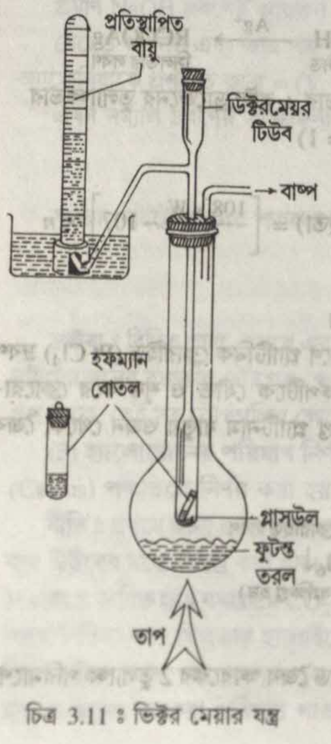
[A] নীতি ঃ এই পদ্ধতিতে কোনো জানা ওজনের উদ্‌বায়ী তরল থেকে উৎপন্ন বাষ্প দ্বারা সম-আয়তন বায়ুকে অপসারিত করা হয়। তারপর ওই অপসারিত বায়ু সংগ্রহ করে সাধারণ উষ্ণতায় এবং চাপে ওর আয়তন মেপে তার থেকে S.T.P.-তে ওর আয়তন কত হয় নির্ণয় করা হয়। ধরি, S.T.P.-তে W g ভরের তরলটির বাষ্পের আয়তন = V হল।

$$\therefore \text{উদ্‌বায়ী তরলটির বাষ্পঘনত্ব} = \frac{\text{S.T.P.-তে } V \text{ মিলি আয়তন বাষ্পের ভর}}{\text{S.T.P.-তে } V \text{ মিলি } H_2 \text{ গ্যাসের ভর}} = \frac{\text{S.T.P.-তে } V \text{ মিলি বাষ্পের ভর}}{V \times 0{\cdot}000089 \text{ g}}$$

$$= \frac{W}{V \times 0{\cdot}000089 \text{ g}} = x \text{ ধরি}$$

যেহেতু আণবিক গুরুত্ব = 2 × বাষ্পঘনত্ব $\therefore$ আণবিক গুরুত্ব = $2x$

[B] প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতি ঃ (i) ভিক্টর মেয়ার টিউব, **(ii)** উত্তপ্ত করার জন্য কপারের জ্যাকেট, **(iii)** হফ্‌ম্যান বোতল, **(iv)** গ্যাস সংগ্রহ করার যন্ত্রপাতি।



চিত্র 3.11 ঃ ভিক্টর মেয়ার যন্ত্র

[C] ভিক্টর মেয়ার যন্ত্র—বর্ণনা ঃ এই যন্ত্রে একটি লম্বা কাচ নলের নীচের অংশে লম্বা আকারের একটি বাল্‌ব যুক্ত থাকে [চিত্র 3.11]। এই নলের উপরের অংশে একটি পার্শ্বনল থাকে যার মুক্ত প্রান্তটি একটি জলপূর্ণ পাত্রের মধ্যে ডোবানো থাকে। এই নলটিকে **ভিক্টর মেয়ার টিউব** বলে। এই নলের উপরের খোলা মুখটি একটি রবারের কর্ক দ্বারা বন্ধ করা থাকে। পরীক্ষার সময় কাচের বাল্‌বটির মধ্যে রাখা গ্লাসউলের উপর পরীক্ষণীয় উদ্‌বায়ী তরলপূর্ণ একটি কাচের টিউব (হফ্‌ম্যান বোতল) ফেলা হয়। ভিক্টর মেয়ার টিউবটিকে ঘিরে থাকা কপারের তৈরি জ্যাকেটের মধ্যে নেওয়া তরলটিকে ফোটানো হয়।

[D] কার্য পদ্ধতি ঃ ভিক্টর মেয়ার টিউবকে ঘিরে থাকা জ্যাকেটের মধ্যে রেখে উত্তপ্ত করা হয়, ফলে টিউবের মধ্যস্থ বাতাস আয়তনে বেড়ে পার্শ্বনল দিয়ে বেরিয়ে আসে এবং জলপূর্ণ পাত্রে বুদবুদের সৃষ্টি করে। এই বুদবুদ ওঠা বন্ধ হলে পর (ভিক্টর মেয়ার টিউবের মধ্যে স্থিতাবস্থায়) জলপূর্ণ অংশোয়িত একটি নলকে জলপূর্ণ পাত্রে নিমজ্জিত পার্শ্বনলের মুক্ত প্রান্তের উপর উপুড় করে রাখা হয়।

ভিক্টর মেয়ার টিউবের উপরের রবারের ছিপিটি খুলে অল্প পরিমাণ (0·1–0·2 g) পরীক্ষণীয় তরলপূর্ণ হফম্যান বোতলকে টিউবের মধ্যে প্রবেশ করিয়ে সঙ্গে সঙ্গে রবারের কর্কটি বন্ধ করে দেওয়া হয়। বাষ্পায়ন নলের তলদেশে পড়ার সময় হফম্যান বোতলের ছিপিটি নিজে থেকে খুলে যায় এবং উদ্‌বায়ী তরলটি দ্রুত বাষ্পে পরিণত হয়। এই উৎপন্ন বাষ্প নিজের সমআয়তনের বায়ুকে অপসারিত করে। এই অপসারিত বায়ু পার্শ্বনল দিয়ে বেরিয়ে জলপূর্ণ অংশোয়িত নলে জলের অপসারণ দ্বারা জমা হয়। এই আয়তনের বায়ুর আয়তনই হল ঘরের চাপ ও উষ্ণতায় পরীক্ষণীয় তরলের বাষ্পের আয়তন।

[E] গণনা ঃ ধরি, অপসারিত বায়ুর আয়তন = x ml এবং নমুনা তরলটির ওজন = W g

t^{o}C উষ্ণতায় p mm চাপে তরলটির বাষ্পের আয়তন = x ml

S.T.P.-তে উৎপন্ন বাষ্পের আয়তন V ml হলে $\frac{760 \times V}{273} = \frac{p \times x}{(273+t)}$ বা, $V = \frac{p \times x \times 273}{(273+t) \times 760}$ ml = y ml ধরি

$$\text{তরলটির বাষ্প ঘনত্ব} = \frac{\text{S.T.P.-তে } y \text{ ml বাষ্পের ভর}}{\text{S.T.P.-তে } y \text{ ml } H_2\text{-এর ভর}} = \frac{W}{y \times 0.000089}$$

[∵ STP-তে 1 মোল H_2-এর ভর = 8.9×10^{-5} g]

$$\text{আণবিক ভর} = 2 \times \text{বাষ্প ঘনত্ব} = \frac{W}{y \times 8.9 \times 10^{-5}}$$

(4) ভর স্পেকট্রোমেট্রি (Mass spectrometry) **দ্বারা সঠিক ভর নির্ণয় ঃ** বর্তমানে এর ব্যবহার বৃদ্ধি পেয়েছে।

নীতি ঃ এই প্রক্রিয়া দ্বারা আণবিক ভর নির্ণয়ে সংশ্লিষ্ট পদার্থটির খুব কম পরিমাণ (1–2 mg) নিয়ে পদার্থটিকে বাষ্পে পরিণত করে ওই বাষ্পকে উচ্চ শক্তিসম্পন্ন ইলেকট্রন (70 eV) রশ্মি দ্বারা আঘাত হানা হয়। এই আঘাতের ফলে কিছু সংখ্যক অণু (e) ইলেকট্রন হারিয়ে পজিটিভ তড়িৎগ্রস্ত মূলক ক্যাটায়নে পরিণত হয়। এগুলিকে **আণবিক আয়ন** বলা হয়।

$$\underset{\text{অণু}}{M} + \underset{\text{উচ্চ শক্তি সম্পন্ন ইলেকট্রন}}{e^-} \longrightarrow \underset{\text{আণবিক আয়ন}}{M^{+\bullet}} + 2e^-$$

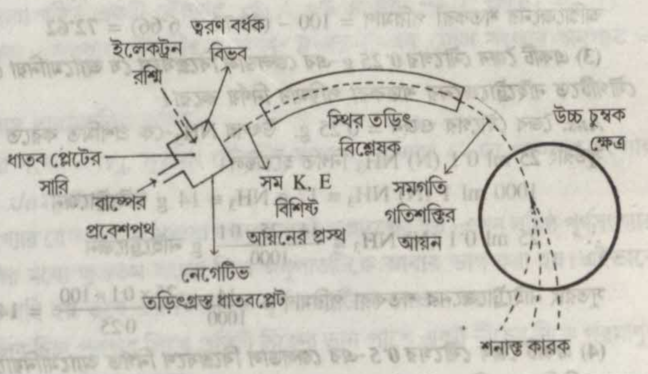
যেহেতু আঘাতকারী ইলেকট্রন রশ্মিটি খুব উচ্চ শক্তিসম্পন্ন, সুতরাং এই আঘাতের ফলে শুধু যে আণবিক আয়নের সৃষ্টি হয় তা নয়, আণবিক আয়নগুলিতে অতিরিক্ত শক্তি যুক্ত থাকে যা পরমাণুগুলির মধ্যস্থ সমযোজী বন্ধনগুলিকে ছিন্ন করার পক্ষে যথেষ্ট। সুতরাং আণবিক আয়নগুলি সৃষ্টি হওয়ার পরই ওদের বেশির ভাগই ভেঙ্গো টুকরো আয়ন বা অপত্য আয়নে পরিণত হয়। এই ভাঙ্গন দুভাবে ঘটে—

(a) একটি অপত্য ক্যাটায়ন এবং একটি মূলক গঠন দ্বারা। $\underset{\text{আণবিক আয়ন}}{M^{+\bullet}} \longrightarrow \underset{\text{অপত্য ক্যাটায়ন}}{m_1^{+}} + \underset{\text{মূলক}}{m_2^{+\bullet}}$

(b) একটি প্রশম অণু এবং একটি মূলক ক্যাটায়ন গঠন দ্বারা। $\underset{\text{আণবিক আয়ন}}{M^{+\bullet}} \longrightarrow \underset{\text{অপত্য মূলক ক্যাটায়ন}}{m_1^{+\bullet}} + \underset{\text{প্রশম অণু}}{m_2}$

এইভাবে সৃষ্ট আণবিক আয়ন, অপত্য আয়ন, অপত্য মূলক ক্যাটায়ন, নিজ নিজ ভর/চার্জ-এর অনুপাতে (m/z) পরস্পর থেকে পৃথক হয়ে যায়। যেহেতু বেশির ভাগ আয়নের চার্জ = +1, সুতরাং m/z অনুপাতটি = **আয়নটির ভর।**

M/z অনুপাত অনুযায়ী পজিটিভ আয়নগুলির মিশ্রণকে সারিবদ্ধ নেগেটিভ তড়িৎগ্রস্ত ধাতব প্লেটের মধ্য দিয়ে চালিত করা হয়। এগুলিকে অ্যাক্সিলারেটর বলা হয়। এর দ্বারা আয়নগুলি উচ্চ গতি পায়। এর পর আয়নগুলিকে স্থির তড়িদ্-বিশ্লেষক প্রকোষ্ঠের মধ্যে পাঠানো হয়। এখানের স্থির তড়িৎক্ষেত্রটি আয়নগুলির গতিপথকে বক্র করে উচ্চ শক্তিসম্পন্ন চৌম্বকক্ষেত্রের মধ্যে চালিত করে। এই ক্ষেত্রের মধ্যে আয়নগুলি নিজ নিজ M/z অনুপাত অনুযায়ী বৃত্তাকার পথে যায়। এখানে পৃথকীকৃত আয়নগুলি শনাক্তকারক যন্ত্রের উপর গিয়ে পড়ে। শনাক্তকারক যন্ত্রটি প্রতিটি আয়নের M/z অনুপাত অনুযায়ী সংকেত দিতে থাকে। সংকেতের তীব্রতা আয়নগুলির গাঢ়ত্বকে প্রকাশ করে।



চিত্র 3.12 ঃ ভর স্পেকট্রোমিটার

আণবিক আয়নগুলির মধ্যে সর্বোচ্চ ভরসংখ্যা বিশিষ্ট (M/z) আণবিক আয়নগুলি থেকে কোনো পদার্থের আণবিক গুরুত্ব নির্ণয় করা যায়। পদার্থের আণবিক আয়নই ($M^{+\bullet}$) জনক অণুটিকে প্রকাশ করে। কারণ এক্ষেত্রে পদার্থের আণবিক আয়ন $M^{+\bullet}$ = জনক অণু M – 1টি ইলেকট্রন (e^-)। আণবিক আয়ন থেকেই কোনো অণুর সঠিক আণবিক ভর নির্ণয় করা যায়।

● **গাণিতিক উদাহরণ** (Numerical examples) ঃ

(1) 0·46 g ভরের একটি জৈব যৌগের দহনে 1·3 g CO_2 এবং 0·42 g H_2O দেয়। যৌগটিতে কার্বন ও হাইড্রোজেনের শতকরা পরিমাণ নির্ণয় করো।

Ans. জৈব যৌগটির ভর = 0·46 g, CO_2-এর ভর 1·3 g, H_2O-এর ভর 0·42 g

44 g CO_2-এর মধ্যে C-এর পরিমাণ = 12 g

1·3 g " " " " $= \frac{12 \times 1{\cdot}3}{44}$

সুতরাং জৈব যৌগটিতে C-এর শতকরা পরিমাণ $= \frac{12}{44} \times 1 \times \frac{100}{0{\cdot}46}$ = **77·07**

18 g H_2O-এর মধ্যে H-এর পরিমাণ = 2 g

0·42 g " " " " $= \frac{2 \times 0{\cdot}42}{18}$ g

জৈব যৌগে H-এর শতকরা পরিমাণ $= \frac{2}{18} \times 0{\cdot}42 \times \frac{100}{0{\cdot}46}$ = **10·14**

(2) C, H এবং O আছে এমন একটি জৈব যৌগের 0·5 g পরিমাণকে লিবিগ পদ্ধতিতে দহন করা হল। পরীক্ষা শেষে $CaCl_2$ পূর্ণ U-টিউব এবং পটাশ বাল্‌বের ওজন বৃদ্ধি যথাক্রমে 0·3 g এবং 0·38 g হল। যৌগটিতে C, H এবং অক্সিজেনের শতকরা পরিমাণ নির্ণয় করো।

Ans. CO_2-এর ওজন = পটাশ বাল্‌বের ওজন বৃদ্ধি = 0·38 g

H_2O-এর ওজন = $CaCl_2$ পূর্ণ U-টিউবের ওজন বৃদ্ধি = 0·3 g

44 g CO_2-তে C-এর পরিমাণ = 12 g

0·38 g " " " $= \frac{12 \times 0{\cdot}38}{44}$ g

∴ যৌগটিতে C-এর শতকরা পরিমাণ $= \frac{12}{44} \times 0{\cdot}38 \times \frac{100}{0{\cdot}5}$ = **20·72**

18 g H_2O-তে H-এর পরিমাণ = 2 g

0·3 g " " " $= \frac{2 \times 0{\cdot}3}{18}$ g

সুতরাং যৌগটিতে H-এর শতকরা পরিমাণ $= \frac{2}{18} \times 0{\cdot}3 \times \frac{100}{0{\cdot}5}$ = **6·66**

অক্সিজেনের শতকরা পরিমাণ = 100 − (20·72 + 6·66) = **72·62**

(3) একটি জৈব যৌগের 0·25 g-এর জেলডাল বিশ্লেষণে যে অ্যামোনিয়া দেয় তা 0·1 (N) H_2SO_4-এর 25 ml-কে প্রশমিত করে। যৌগটিতে নাইট্রোজেনের শতকরা পরিমাণ নির্ণয় করো।

Ans. জৈব যৌগের ওজন = 0·25 g. উৎপন্ন NH_3-কে প্রশমিত করতে 0·1 (N) H_2SO_4-এর আয়তন = 25 ml

সুতরাং 25 ml 0·1 (N) NH_3 নির্গত হয়েছিল।

1000 ml 1 (N) NH_3 ≡ 17 g NH_3 ≡ 14 g নাইট্রোজেন

∴ 25 ml 0·1 (N) $NH_3 \equiv \frac{14 \times 25 \times 0{\cdot}1}{1000}$ g নাইট্রোজেন

সুতরাং নাইট্রোজেনের শতকরা পরিমাণ $= \frac{14}{1000} \times \frac{25 \times 0{\cdot}1 \times 100}{0{\cdot}25}$ = **14**

(4) একটি জৈব যৌগের 0·5-এর জেলডাল বিশ্লেষণে নির্গত অ্যামোনিয়াকে 76 ml 0·2 (N) H_2SO_4-এর মধ্য দিয়ে চালনা করা হল। অতিরিক্ত অ্যাসিডকে 30 ml 0·2 (N) NaOH দ্রবণ দ্বারা প্রশমিত করা হল। যৌগটিতে নাইট্রোজেনের শতকরা পরিমাণ নির্ণয় করো।

Ans. জৈব যৌগটির ওজন = 0·5 g। অতিরিক্ত H_2SO_4-কে প্রশমিত করতে 0·2 (N) NaOH-এর 30 ml-এর প্রয়োজন হয়। সুতরাং NH_3 দ্বারা প্রশমিত না হওয়া 0·2 (N) H_2SO_4-এর আয়তন = 30 ml হবে।

সুতরাং NH_3 দ্বারা প্রশমিত 0·2 (N) H_2SO_4-এর আয়তন = (75 − 30) = 45 ml

∴ 45 ml 0·2 (N) H_2SO_4 ≡ 45 ml 0·2 (N) NH_3

1000 ml 1 (N) $NH_3 \equiv$ 17 g NH_3 = 14 g নাইট্রোজেন

$\therefore$ 45 ml 0·2 (N) $NH_3 \equiv \dfrac{14 \times 45 \times 0{\cdot}2}{1000}$ g N_2

অতএব যৌগটিতে নাইট্রোজেনের শতকরা পরিমাণ = $\dfrac{14 \times 45 \times 0{\cdot}2 \times 100}{1000 \times 0{\cdot}5}$ = **25·2**

(5) 0·225 g ভরের একটি তরলের বাষ্প ভিক্টর মেয়ার পদ্ধতিতে 40 ml বায়ুকে প্রতিস্থাপিত করে (7°C উষ্ণতা এবং 708·5 mm চাপে)। তরলটির আণবিক ভর নির্ণয় করো। 7°C উষ্ণতায় জলীয় বাষ্পচাপ = 8·5 mm.

Ans. তরলটির ওজন = 0·225 g, প্রতিস্থাপিত বায়ুর আয়তন V_2 = 40 ml

উষ্ণতা T_2 = 273 + 7 = 280 K, চাপ P_2 = (708·5 – 8·5) = 700 mm

ধরি, বাষ্পটির আয়তন S.T.P.-তে = V_1 ml. এখানে P_1 = 760 mm, T_1 = 273 K,

আমরা জানি, $\dfrac{P_1V_1}{T_1} = \dfrac{P_2V_2}{T_2}$ বা, $V_1 = \dfrac{P_2V_2T_1}{T_2P_1}$ মানগুলি বসিয়ে, S.T.P.-তে আয়তন $V_1 = \dfrac{700 \times 40 \times 273}{280 \times 760}$ = 35·92 ml

S.T.P.-তে 35·92 ml বাষ্পের ওজন = 0·225 g

S.T.P.-তে 22400 " " " = $\dfrac{0{\cdot}225 \times 22400}{35{\cdot}92}$ = 140·3 g

$\therefore$ তরলটির আণবিক ভর = **140·3**

3.12. স্থূল সংকেত [Empirical formula]

কোনো যৌগের একটি অণুর মধ্যে উপস্থিত বিভিন্ন পরমাণুর সংখ্যাগুলির অনুপাত নির্ণয় করলে যৌগটির যে সরলতম সংকেত পাওয়া যায়, তাকে ওই যৌগের স্থূল সংকেত বলে। যেমন, গ্লুকোজ অণুর মধ্যে C পরমাণু 6টি, H পরমাণু 12টি এবং O পরমাণু 6টি আছে। সুতরাং পরমাণুর সংখ্যাগুলির অনুপাত—C ঃ H ঃ O = 6 ঃ 12 ঃ 6 = 1 ঃ 2 ঃ 1 হয়। সুতরাং গ্লুকোজের স্থূল সংকেত = $C_1H_2O_1$।

● যৌগের স্থূল সংকেত নির্ণয় করার পদ্ধতিঃ

(i) কোনো যৌগের মধ্যে উপস্থিত মৌলগুলির ওজনের শতকরা পরিমাণ বা ওজন অনুপাত নির্ণয় করা হল।

(ii) এইভাবে প্রাপ্ত যৌগটির অণুর মধ্যে উপস্থিত প্রত্যেকটি মৌলের শতকরা পরিমাণকে কিংবা ওজন অনুপাতকে মৌলগুলির নিজের নিজের পারমাণবিক ওজন দ্বারা ভাগ করা হয়।

যেমন ধরি, *A, B* এবং *C*—এই তিনটি মৌল দ্বারা গঠিত একটি যৌগের, *x% A, y% B* এবং *z% C* আছে। মৌলের পারমাণবিক ওজন যথাক্রমে *a, b* এবং *c*.সুতরাং যৌগটির মধ্যে *A, B*-এর *C*-এর মোল সংখ্যার অনুপাত = x/a ঃ y/b ঃ z/c।

কারণ, মোল সংখ্যা = গ্রামে প্রকাশিত ওজন/গ্রাম পারমাণবিক ওজন

আমরা জানি, 1 মোল পরিমাণ মৌলে পরমাণুর সংখ্যা = N_A, সুতরাং যৌগটির মধ্যে *A, B* এবং *C*-এর পরমাণুর সংখ্যার অনুপাত = $x/a \times N_A$ ঃ $y/b \times N_A$ ঃ $z/c \times N_A = x/a$ ঃ y/b ঃ z/c।

(iii) এইভাবে যৌগের মধ্যস্থ পরমাণুগুলির সংখ্যার যে অনুপাত পাওয়া যায় তা প্রায়ই ভগ্নাংশের হয়। এখন লঘিষ্ঠ পূর্ণসংখ্যার অনুপাত পাওয়ার জন্য ওই ভগ্নাংশের অনুপাতগুলির মধ্যে ক্ষুদ্রতম সংখ্যা দিয়ে অনুপাতটিকে আবার ভাগ করা হয়। এইভাবে প্রাপ্ত অনুপাতের কোনটি যদি পূর্ণসংখ্যার খুব কাছাকাছি হয় তবে এর নিকটতম পূর্ণসংখ্যাটিকে নেওয়া হয়।

(iv) এইবার যৌগটির মধ্যে উপস্থিত মৌলগুলির চিহ্ন পরপর লিখে প্রতিটি চিহ্নের ডান পাশে একটু নীচের দিকে পরমাণুর আনুপাতিক পূর্ণসংখ্যা লিখলেই ওই যৌগের স্থূল সংকেত পাওয়া যায়।

3.13. আণবিক সংকেত [Molecular formula]

কোনো যৌগের একটি অণুতে যে সমস্ত পরমাণু উপস্থিত থাকে, সেই বিভিন্ন পরমাণুগুলির প্রকৃত সংখ্যা যে সংকেত দ্বারা প্রকাশ করা হয় তাকে আণবিক সংকেত (Molecular formula) **বলে।** আণবিক সংকেতে পরমাণুগুলির সংখ্যা নির্দিষ্ট থাকে—অর্থাৎ যৌগের নির্দিষ্ট আণবিক ভর থাকে। যেমন, গ্লুকোজের একটি অণুতে 6টি কার্বন পরমাণু, 12টি H পরমাণু এবং 6টি O পরমাণু আছে। সুতরাং গ্লুকোজের আণবিক সংকেত $C_6H_{12}O_6$.

● আণবিক সংকেত নির্ণয় করার পদ্ধতিঃ

(i) কোনো যৌগের আণবিক সংকেত নির্ণয় করতে হলে প্রথমে আগের পদ্ধতি অনুযায়ী যৌগটির স্থূল সংকেত নির্ণয় করা হয়।

(ii) এইবার বিভিন্ন পদ্ধতির সাহায্যে যৌগটির আণবিক ওজন নির্ণয় করা হয়। যৌগটি উদ্‌বায়ী হলে পরীক্ষার সাহায্যে যৌগটির বাষ্প-ঘনত্ব নির্ণয় করে 2 × বাষ্প-ঘনত্ব = আণবিক গুরুত্ব, এই সম্পর্কের সাহায্যে যৌগটির আণবিক গুরুত্ব নির্ণয় করা হয়।

(iii) কোনো যৌগের আণবিক সংকেত ওর স্থূল সংকেতের সমান বা স্থূল সংকেতের কোনো সরল গুণিতক হয়। অর্থাৎ **স্থূল সংকেত × n = আণবিক সংকেত,** n = 1, 2, 3 ইত্যাদি কোনো পূর্ণসংখ্যা।

(iv) এখন n-এর মান নির্ণয় করতে হলে, যৌগটির স্থূল সংকেত অনুযায়ী প্রাপ্ত ওজন অর্থাৎ স্থূল সংকেতে বর্তমান পরমাণুগুলির পারমাণবিক ওজনের যোগফল দিয়ে, যৌগটির প্রকৃত আণবিক গুরুত্বকে ভাগ করলে n-এর মান পাওয়া যায়।

● গাণিতিক উদাহরণ (Numerical examples)ঃ

(1) একটি যৌগে কার্বনের পরিমাণ 40%, হাইড্রোজেনের পরিমাণ 6·67%, O_2-এর পরিমাণ 53·33%। যৌগটির আণবিক ওজন = 180, যৌগটির আণবিক সংকেত নির্ণয় করো।

Ans. বিভিন্ন প্রক্রিয়াগুলি নীচের ছকে লিখলে পাওয়া যায়—

মৌল	চিহ্ন	শতকরা ভাগ	পারমাণবিক গুরুত্ব	পরমাণুর সংখ্যার অনুপাত	লঘিষ্ঠ পূর্ণসংখ্যার অনুপাত
কার্বন	C	40	12	$\frac{40}{12} = 3·33$	$\frac{3·33}{3·33} = 1$
হাইড্রোজেন	H	6·67	1	$\frac{6·67}{1} = 6·67$	$\frac{6·67}{3·33} = 2$
অক্সিজেন	O	53·33	16	$\frac{53·33}{16} = 3·33$	$\frac{3·33}{3·33} = 1$

∴ যৌগটির স্থূল সংকেত = CH_2O

ধরি, আণবিক সংকেত = $(CH_2O)_n$, এখানে n একটি পূর্ণসংখ্যা, আণবিক ওজন = 180

$\therefore 12n + 2n + 16n$ বা, $30n = 180$ $\therefore n = 6$

∴ যৌগটির আণবিক সংকেত = $\mathbf{(CH_2O)_6 = C_6H_{12}O_6}$

(2) একটি জৈব তরলকে বিশ্লেষণ করে দেখা গেল যে, পদার্থটিতে কার্বনের পরিমাণ 10·06%, H-এর পরিমাণ 0·84% এবং Cl-এর পরিমাণ 89·10%; তরলটির বাষ্পঘনত্ব = 60। যৌগটির আণবিক সংকেত নির্ণয় করো।

Ans. বিভিন্ন প্রক্রিয়াগুলি নীচের ছকে লিখলে পাওয়া যায়—

মৌল	চিহ্ন	শতকরা ভাগ	পারমাণবিক গুরুত্ব	পরমাণুর সংখ্যার অনুপাত	লঘিষ্ঠ পূর্ণসংখ্যার অনুপাত
কার্বন	C	10·06	12	$\frac{10·06}{12} = 0·84$	$\frac{0·84}{0·84} = 1$
হাইড্রোজেন	H	0·84	1	$\frac{0·84}{1} = 0·84$	$\frac{0·84}{0·84} = 1$
ক্লোরিন	Cl	89·1	35·5	$\frac{89·1}{35·5} = 2·5$	$\frac{2·5}{0·84} = 3$

সুতরাং যৌগটির স্থূল সংকেত = $CHCl_3$

ধরি, আণবিক সংকেত = $(CHCl_3)_n$, n = পূর্ণসংখ্যা, যৌগটির আণবিক ওজন = 60 × 2 = 120

$\therefore (CHCl_3)_n = 120$ বা, $12n + n + 3 \times 35·5n = 120$ বা, $119·5n = 120$ বা, $n = 1$

∴ যৌগটির আণবিক সংকেত = $\mathbf{CHCl_3}$

(3) একটি জৈব যৌগে কার্বন, হাইড্রোজেন এবং অক্সিজেন আছে। C-এর ভাগ শতকরা 64·9 এবং H-এর ভাগ শতকরা 13·5। যৌগটির 0·185 গ্রাম ভিক্টর মেয়ার যন্ত্রে বাষ্পীভূত করলে 56·0 cc বায়ু (প্রমাণ চাপ ও তাপমাত্রায়) বিতাড়িত হয়। যৌগটির গঠন এবং IUPAC পদ্ধতিতে নাম লেখো।

Ans. বিভিন্ন প্রক্রিয়াগুলি নীচে দেখানো হল—

মৌল	চিহ্ন	শতকরা ভাগ	পাঃ গুরুত্ব	পরমাণুর সংখ্যার অনুপাত	লঘিষ্ঠ পূর্ণসংখ্যার অনুপাত
কার্বন	C	64·9	12	$\frac{64·9}{12} = 5·41$	$\frac{5·41}{1·35} = 4$
হাইড্রোজেন	H	13·5	1	$\frac{13·5}{1} = 13·5$	$\frac{13·5}{1·35} = 10$
অক্সিজেন	O	$100 - (64·9 + 13·5) = 21·6$	16	$\frac{21·6}{16} = 1·35$	$\frac{1·35}{1·35} = 1$

∴ অণুটিতে C ঃ H ঃ O = 4 ঃ 10 ঃ 1। সুতরাং যৌগর স্থূল সংকেত = $C_4H_{10}O$

যৌগটি 56 cc বায়ু অপসারিত করে। সুতরাং যৌগটির আয়তন STP-তে = 56 cc এবং ওজন = 0·185 গ্রাম।

56 cc আয়তনের (S.T.P.-তে) ওজন = 0·185 গ্রাম

22400 cc " " " $= \frac{0·185 \times 22400}{56} = 74$ গ্রাম

∴ যৌগটির আণবিক গুরুত্ব = 74। ধরি যৌগটির আণবিক সংকেত $(C_4H_{10}O)_n$।

∴ $(C_4H_{10}O)_n = 74$ বা, $4 \times 12n + 10n + 16n = 74$ বা, $n = 1$

∴ আণবিক সংকেত = $\mathbf{(C_4H_{11}O)_1 = C_4H_{10}O}$

(4) ***একটি গ্যাসীয় হাইড্রোকার্বনের স্থূল সংকেত CH_2। নির্দিষ্ট চাপ ও উষ্ণতায় এর ঘনত্ব 3·86 g/L এবং সম উষ্ণতায় ও চাপে O_2-এর ঘনত্ব 2·21 g/L। যৌগটির আণবিক সংকেত নির্ণয় করো।***

Ans. যেহেতু নির্দিষ্ট চাপ ও উষ্ণতায় যৌগটির ঘনত্ব = 3·86 g/L এবং O_2-এর ঘনত্ব = 2·21 g/L, সুতরাং O_2-এর সাপেক্ষে প্রদত্ত যৌগটির বাষ্পঘনত্ব = 3·86/2·21। এখন O_2-এর আপেক্ষিক ঘনত্ব (H = 1) = 16, সুতরাং হাইড্রোজেনের সাপেক্ষে প্রদত্ত হাইড্রোকার্বনটির আপেক্ষিক ঘনত্ব = $\frac{3·86 \times 16}{2·21}$.

এখন আণবিক গুরুত্ব = আপেক্ষিক ঘনত্ব × 2 সুতরাং হাইড্রোকার্বনটির আণবিক গুরুত্ব = $\frac{3·86 \times 16}{2·21} \times 2 = 56$

স্থূল সংকেত হল CH_2. সুতরাং আণবিক সংকেত ধরি, $(CH_2)_n$

∴ যৌগটির আণবিক গুরুত্ব $(CH_2)_n = 12n + 2n = 14n = 56$ বা, $n = 4$

সুতরাং আণবিক সংকেত $\mathbf{(CH_2)_4 = C_4H_8}$

• হাইড্রোকার্বন •

3.14. হাইড্রোকার্বনের শিল্পোৎপাদনের উৎস রূপে পেট্রোলিয়াম [Petroleum as the industrial source of hydrocarbon]

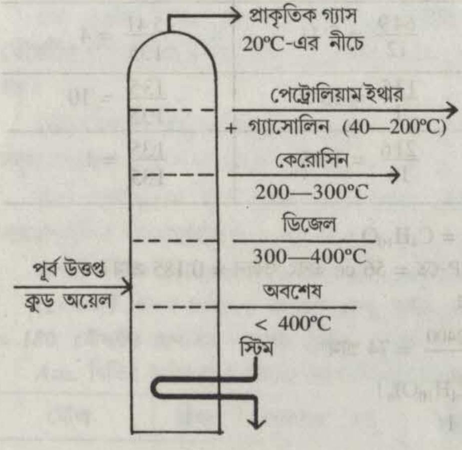
পৃথিবীর বিভিন্ন অঞ্চলে ভূগর্ভের মধ্যে বিপুল পরিমাণ তরল হাইড্রোকার্বনের—বিশেষ করে অ্যালকেনের বিশাল সঞ্চয় জমা থাকতে দেখা যায়। ভূপৃষ্ঠের অনেক নীচে অপ্রবেশ্য শিলাস্তরের উপর বিভিন্ন প্রকার হাইড্রোকার্বনের অশুদ্ধিযুক্ত তৈলাক্ত মিশ্রণকে পেট্রোলিয়াম বলা হয়। পেট্রোলিয়ামের সাথে পেট্রোলিয়াম স্তরের উপরে প্রাকৃতিক গ্যাসের সঞ্চয় থাকতে দেখা যায়। প্রাকৃতিক গ্যাসের 90% হল মিথেন—এর সাথে ইথেন, প্রোপেন, বিউটেন এবং কম স্ফুটনাঙ্কের পেন্টেনের বাষ্প মেশানো থাকে।

পেট্রোলিয়ামের উৎস হল উদ্ভিদ ও প্রাণী—যেগুলি বহু লক্ষ বছর আগে পৃথিবীর উপরে থাকতো। কোনো এক সময় প্রাকৃতিক বিপর্যয়ের ফলে প্রাণী ও বিশাল অরণ্য মাটির নীচে চাপা পড়ে যায়। তারপর লক্ষ লক্ষ বছর ধরে মাটির নীচে চাপা পড়া অবস্থায় বায়ুর অনুপস্থিতিতে ভূগর্ভের তাপ, চাপ এবং মাটির মধ্যস্থ নানারকম ব্যাকটেরিয়ার ক্রিয়ার ফলে এইগুলির রাসায়নিক পরিবর্তন ঘটে কার্বনসমৃদ্ধ তরল ও গ্যাসীয় হাইড্রোকার্বনে রূপান্তরিত হয়। তরল হাইড্রোকার্বনগুলির মিশ্রণই হল **ক্রুড অয়েল** বা **পেট্রোলিয়াম**, আর গ্যাসীয় হাইড্রোকার্বনের মিশ্রণই হল **প্রাকৃতিক গ্যাস** (Natural gas)।

● **পেট্রোলিয়ামের গঠন** (Composition of petroleum) ঃ

পেট্রোলিয়াম হল বহুসংখ্যক জৈব যৌগের জটিল মিশ্রণ, যেগুলির বেশির ভাগই হল হাইড্রোকার্বন। যেমন, অ্যালকেন, সাইক্লোঅ্যালকেন এবং অ্যারোমেটিক হাইড্রোকার্বন।

(1) অ্যালকেন—পেট্রোলিয়ামে প্রায় (30–70)% অ্যালকেন থাকে, যেগুলি 1 থেকে 30-এর কিছু বেশি সংখ্যক C পরমাণুবিশিষ্ট হয়। এগুলির বেশির ভাগই হল সরল কার্বন শৃঙ্খলযুক্ত (n-অ্যালকেন) হয় এবং ওদের আইসোমার। কিছু পরিমাণ শাখা শৃঙ্খলযুক্ত হাইড্রোকার্বনও উপস্থিত থাকে।



চিত্র 3.13 : পেট্রোলিয়ামের আংশিক পাতন

(2) সাইক্লোঅ্যালকেন বা ন্যাপথিন প্রায় (16–64)% উপস্থিত থাকে যেগুলির মধ্যে প্রধান হল মিথাইল সাইক্লোপেন্টেন, সাইক্লোহেক্সেন এবং মিথাইল সাইক্লোহেক্সেন।

(3) অ্যারোমেটিক হাইড্রোকার্বন (2–15)% উপস্থিত থাকে, যেগুলির মধ্যে প্রধান হল বেঞ্জিন, টলুইন, জাইলিন।

এছাড়া প্রায় 8% সালফার ও নাইট্রোজেন যুক্ত জৈব যৌগ উপস্থিত থাকে।

● **পেট্রোলিয়ামের শোধন** (Petroleum refining) :

ভূগর্ভ থেকে যে পেট্রোলিয়াম তোলা হয় সেটি হল কালো রঙের গুড়ের মতো চটচটে পদার্থ। একে **ক্রুড অয়েল** বা **অপরিশোধিত তেল** বলা হয়। পেট্রোলিয়ামের বেশির ভাগই হল C_1–C_{40}-কার্বন পরমাণু বিশিষ্ট অ্যালকেন এবং অপেক্ষাকৃত অনেক কম পরিমাণ অ্যারোমেটিক হাইড্রোকার্বনের মিশ্রণ। এর আংশিক পাতন করলে বিভিন্ন উষ্ণতায় বিভিন্ন পদার্থগুলির পাতিত অংশরূপে পাওয়া যায়। পেট্রোলিয়ামের মধ্যস্থ বিভিন্ন স্ফুটনাঙ্কবিশিষ্ট ওর উপাদান হাইড্রোকার্বনগুলিকে পেট্রোলিয়ামের আংশিক পাতন দ্বারা পৃথক করার পদ্ধতিকে পেট্রোলিয়ামের শোধন বলা হয়।

পেট্রোলিয়ামের আংশিক পাতনে বিভিন্ন উষ্ণতায় প্রাপ্ত পদার্থগুলির নাম ও তাদের ব্যবহার নীচে দেওয়া হল—

পাতিত অংশ	C পরমাণুর সংখ্যা	উষ্ণতা °C	ব্যবহার
(1) গ্যাসীয় হাইড্রোকার্বন	C_1—C_4	—	জ্বালানিরূপে, কার্বন ব্ল্যাক, H_2 এবং মিথানল প্রস্তুতিতে।
(2) ক্রুড অয়েল			
(a) **পেট্রোলিয়াম ইথার**	C_5—C_7	30–90	বার্নিশ ও রবার শিল্পে দ্রাবকরূপে, ড্রাই-ওয়াশ করতে।
(b) **পেট্রোল বা গ্যাসোলিন**	C_7—C_{12}	90–120	মোটরগাড়ির জ্বালানি রূপে ও ড্রাই-ওয়াশ করতে।
(c) **বেঞ্জাইন**	C_9—C_{10}	120–150	ড্রাই-ওয়াশ করতে।
(3) কেরোসিন তেল	C_{10}—C_{13}	150–300	আলোক উৎপাদনে, স্টোভে জ্বালানিরূপে ও অয়েল গ্যাস প্রস্তুতিতে।
(4) ফুয়েল তেল বা ডিজেল	C_{13}—C_{15}	240–350	ডিজেল ইঞ্জিনের জ্বালানিরূপে।
(5) লুব্রিকেটিং তেল	C_{16}—C_{20}	270°C-এর উপর	রঙের তেল রূপে, ট্রান্সফরমারের তেলরূপে, পিচ্ছিলকারক তেলরূপে।
(6) প্যারাফিন ওয়াক্স	C_{18}—C_{30}	400°C-এর উপর	প্যারাফিন ওয়াক্স, মোমবাতি, কঠিন জ্বালানিরূপে, দেশলাই শিল্পে।
(7) ভারী তেল এবং বিটুমেন	C_{25}-এর ওপরে	অবশেষ	রাস্তা তৈরি করতে।

রান্না এবং বিভিন্ন শিল্পে L.P.G. অর্থাৎ লিকুইড পেট্রোলিয়াম গ্যাস নামে যে গ্যাস আজকাল বহুল ব্যবহৃত হচ্ছে সেটি হল কতকগুলি 3–4 কার্বন পরমাণু বিশিষ্ট হাইড্রোকার্বন গ্যাসের মিশ্রণ—এইগুলি হল, প্রোপেন (C_3H_8), প্রোপিন (C_3H_6), n-বিউটেন (C_4H_{10}), আইসোবিউটেন খুব সামান্য পরিমাণে ইথিনের মিশ্রণকে চাপ প্রয়োগে তরলে পরিণত করে স্টিলের সিলিন্ডারের মধ্যে রাখা হয়। L.P.G.-এর প্রধান উৎস হল প্রাকৃতিক গ্যাস এবং পেট্রোলিয়ামের শোধন ও ক্র্যাকিং-এর ফলে পাওয়া গ্যাস। এই গ্যাস সম্পূর্ণ দাহিত হয় বলে এর ব্যবহারে বায়ু দূষণের পরিমাণ কমে।

ক্রুড অয়েলের আংশিক পাতনের ফলে যেসব অংশগুলি পাওয়া যায়—সেগুলির মধ্যে গ্যাসোলিন বা পেট্রোল, কেরোসিন এবং ডিজেলের চাহিদা বর্তমানে খুব বেড়ে গেছে। এই জ্বালানিগুলির ক্রমবর্ধমান চাহিদা পুরণ করার জন্য নীচের দুটি পদ্ধতির সাহায্যে

দীর্ঘ শৃঙ্খল বিশিষ্ট হাইড্রোকার্বনগুলিকে ভেঙে ক্ষুদ্র শৃঙ্খলবিশিষ্ট হাইড্রোকার্বনে পরিণত করা সম্ভব হয়েছে। পদ্ধতি দুটি হল—**(i) ক্র্যাকিং, (ii) রিফরমিং।**

ক্র্যাকিং (Cracking) ঃ তাপ প্রয়োগে জৈব যৌগকে বিয়োজিত করার পদ্ধতিকে **পাইরোলাইসিস** (Pyrolysis) বলা হয়। পেট্রোলিয়ামের আংশিক পাতনে প্রাপ্ত উচ্চ স্ফুটনাঙ্ক বিশিষ্ট ও দীর্ঘ শৃঙ্খল বিশিষ্ট হাইড্রোকার্বনের যেমন, ফুয়েল অয়েল এবং লুব্রিকেটিং অয়েলের পাইরোলাইসিস পদ্ধতিকে ক্র্যাকিং বলা হয়।

কেবলমাত্র তাপ প্রয়োগে অথবা কোনো অনুঘটকের উপস্থিতিতে তাপ প্রয়োগে, উচ্চ স্ফুটনাঙ্কের হাইড্রোকার্বনকে কম স্ফুটনাঙ্ক বিশিষ্ট হাইড্রোকার্বনের মিশ্রণে পরিণত করার পদ্ধতিকে ক্র্যাকিং বলা হয়।

ক্র্যাকিং দ্বারা উচ্চতর হাইড্রোকার্বনের মধ্যস্থ C—C বন্ধনগুলিকে এবং C—H বন্ধনগুলিকে ছিন্ন করে নিম্নতর কতকগুলি হাইড্রোকার্বনের মিশ্রণে পরিণত করা হয়। এর ফলে একটিমাত্র হাইড্রোকার্বন থেকে বহু সংখ্যক নিম্নতর হাইড্রোকার্বন এই পদ্ধতির দ্বারা পাওয়া যায়। যেমন—

$$\underset{n\text{-বিউটেন}}{CH_3—CH_2—CH_2—CH_3} \xrightarrow[\Delta]{800^\circ C} \begin{cases} \underset{\text{1-বিউটিন}}{CH_3CH_2CH = CH_2} + H_2\uparrow \\ \underset{\text{2-বিউটিন}}{CH_3CH = CHCH_3} + H_2 \\ \underset{\text{প্রোপিন}}{CH_3CH = CH_2} + \underset{\text{মিথেন}}{CH_4} \\ \underset{\text{ইথিন}}{CH_2 = CH_2} + \underset{\text{ইথেন}}{H_3C—CH_3} \end{cases}$$

$$\textbf{দীর্ঘশৃঙ্খল অ্যালকেন} \xrightarrow[\text{ক্র্যাকিং}]{400—800^\circ C} \textbf{অ্যালকিন + নিম্নতর অ্যালকেন} + H_2$$

তাপীয় ক্র্যাকিং (Thermal cracking) ঃ **শুধুমাত্র তাপ প্রয়োগে উচ্চ হাইড্রোকার্বনের উচ্চ স্ফুটনাঙ্কের দীর্ঘ শৃঙ্খল হাইড্রোকার্বনগুলিকে নিম্ন স্ফুটনাঙ্কের অপেক্ষাকৃত ক্ষুদ্রতর শৃঙ্খলের হাইড্রোকার্বনে পরিণত করার পদ্ধতিকে তাপীয় ক্র্যাকিং বলা হয়।**

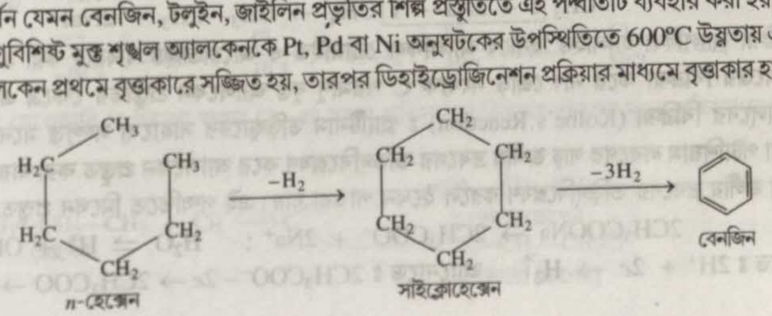
তাপীয় ক্র্যাকিং-এর একটি অসুবিধা হল যে তাপীয় ক্র্যাকিং-এ অনিয়মিত এবং বিশৃঙ্খলভাবে C—C বন্ধনের সৃষ্টি হয় যাকে নিয়ন্ত্রিত করার কোনো উপায় থাকে না। তাপীয় ক্র্যাকিং নিয়ন্ত্রিত করা যায় না বলে, কোনো হাইড্রোকার্বনের তাপীয় ক্র্যাকিং-এর ফলে বিভিন্ন হাইড্রোকার্বনের জটিল এক মিশ্রণ পাওয়া যায়—যে মিশ্রণ থেকে উপাদানগুলিকে পৃথক করা সহজ হয় না।

অনুঘটকীয় ক্র্যাকিং (Catalytic cracking) ঃ এই অসুবিধাগুলি দুর করার জন্য অনুঘটকীয় ক্র্যাকিং-এর প্রয়োজন ঘটে। **কোনো উপযুক্ত অনুঘটকের উপস্থিতিতে তাপীয় ক্র্যাকিং ঘটানোর প্রক্রিয়াকে অনুঘটকীয় ক্র্যাকিং বলা হয়।**

অনুঘটকীয় ক্র্যাকিং-এর জন্য ব্যবহৃত উপযুক্ত অনুঘটক হল **4 ঃ 1 অনুপাতে সিলিকা** এবং **অ্যালুমিনার মিশ্রণ**। তাপীয় ক্র্যাকিং-এ প্রযুক্ত উষ্ণতার চেয়ে অনেক কম উষ্ণতায় (327—377°C) অনুঘটকীয় ক্র্যাকিং ঘটানো হয়। পেট্রোলিয়াম শিল্পে গ্যাসোলিন প্রস্তুতির শতকরা 85 ভাগই এই প্রক্রিয়ায় উৎপন্ন করা হয়। এছাড়া এই পদ্ধতিটির দ্বারা বিভিন্ন অ্যালকিন যেমন, ইথিন, প্রোপিন, বিউটিন প্রভৃতি প্রস্তুত করা হয়। এই পদ্ধতি দ্বারা কেরোসিনকে গ্যাসোলিনে পরিণত করা যায়।

$$\underset{\text{bp } 200—300^\circ C}{\textbf{কেরোসিন } (C_{11}—C_{10})} \xrightarrow[50^\circ C]{Al_2O_3—SiO_2} \underset{\text{bp } 80^\circ—120^\circ C}{\textbf{গ্যাসোলিন } (C_5—C_{10})}$$

রিফরমিং (Reforming) ঃ **(1)** গ্যাসোলিনের কর্মক্ষমতা বৃদ্ধির জন্য এবং **(2)** অ্যালকেন ও সাইক্লো-অ্যালকেন থেকে অ্যারোমেটিক হাইড্রোকার্বন যেমন বেনজিন, টলুইন, জাইলিন প্রভৃতির শিল্প প্রস্তুতিতে এই পদ্ধতিটি ব্যবহার করা হয়। এই পদ্ধতি দ্বারা 6 থেকে 8 C-পরমাণুবিশিষ্ট মুক্ত শৃঙ্খল অ্যালকেনকে Pt, Pd বা Ni অনুঘটকের উপস্থিতিতে 600°C উষ্ণতায় এই রিফরমিং পদ্ধতিতে দীর্ঘ শৃঙ্খল অ্যালকেন প্রথমে বৃত্তাকারে সজ্জিত হয়, তারপর ডিহাইড্রোজিনেশন প্রক্রিয়ার মাধ্যমে বৃত্তাকার হাইড্রোকার্বনে পরিণত হয়।



3.15. অ্যালকেন—সম্পৃক্ত হাইড্রোকার্বন [Alkanes— Saturated Hydrocarbons]

● **অ্যালকেনের সাধারণ প্রস্তুতি প্রণালী** (General methods of preparation of alkanes) ঃ

(1) কার্বোক্সিলিক অ্যাসিডের ডিকার্বক্সিলেশন দ্বারা ঃ ফ্যাটি অ্যাসিডের অনার্দ্র সোডিয়াম লবণকে সোডা লাইমের [NaOH + CaO] মিশিয়ে উত্তপ্ত করলে অ্যালকেন উৎপন্ন হয়।

$$RCOONa + NaOH \xrightarrow{\Delta} \underset{\text{অ্যালকেন}}{RH} + Na_2CO_3$$

উদাহরণ ঃ শুষ্ক সোডিয়াম অ্যাসিটেটকে সোডা লাইমের সঙ্গে মিশিয়ে উত্তপ্ত করলে মিথেন উৎপন্ন হয়।

$$CH_3\boxed{COONa + NaO}H \xrightarrow[\Delta]{CaO} CH_4 + Na_2CO_3$$

(2) অ্যালকিল হ্যালাইডের বিজারণ দ্বারা ঃ অ্যালকিল হ্যালাইডকে অ্যালকোহল এবং জিঙ্ক কপার কাপল্ বা Zn + HCl **অথবা** $LiAlH_4$ **দ্বারা বিজাড়িত** করলে অ্যালকেন উৎপন্ন হয়।

$$\underset{\text{অ্যালকিন হ্যালাইড}}{RX} \xrightarrow[C_2H_5OH]{Zn/Cu} \underset{\text{অ্যালকেন}}{RH} + Zn(C_2H_5\text{—}OH)X$$

মিথাইল আয়োডাইড বা ইথাইল আয়াডাইডকে Zn/Cu এবং অ্যালকোহল দ্বারা বিজারিত করে যথাক্রমে মিথেন ও ইথেন পাওয়া যায়।

$$CH_3I \xrightarrow[C_2H_5OH]{Zn/Cu} \underset{\text{মিথেন}}{CH_4} + Zn(OC_2H_5)I\ ; \quad C_2H_5Cl \xrightarrow[C_2H_5OH]{Zn/Cu} \underset{\text{ইথেন}}{C_2H_6} + Zn(OC_2H_5)Cl$$

(3) অসম্পৃক্ত হাইড্রোকার্বনের (অ্যালকিন বা অ্যালকাইন) হাইড্রোজিনেশন দ্বারা ঃ প্ল্যাটিনাম, প্যালাডিয়াম বা নিকেল অনুঘটকের উপস্থিতিতে অসম্পৃক্ত হাইড্রোকার্বনের সঙ্গে হাইড্রোজেনের বিক্রিয়া দ্বারা অ্যালকেন প্রস্তুত করা হয়। যেমন, Ni **অনুঘটকের** উপস্থিতিতে 200°C উষ্ণতায় **অ্যালকিনের দ্বি-বন্ধন এবং অ্যালকাইনের ত্রি-বন্ধনে** H পরমাণু যুক্ত হয়ে অ্যালকেন উৎপন্ন হয়। **এই পদ্ধতিকে সাবাতিয়ার সেনডারেনস বিজারণ বলে।**

$$\underset{\text{ইথিলিন}}{CH_2{=}CH_2} \xrightarrow[Ni/200°C]{H_2} \underset{\text{ইথেন}}{CH_3\text{—}CH_3}\ ; \quad \underset{\text{প্রোপিন}}{CH_3CH{=}CH_2} \xrightarrow[Pt]{H_2} \underset{\text{প্রোপেন}}{CH_3CH_2CH_3}$$

$$\underset{\text{অ্যাসিটিলিন}}{H\text{—}C{\equiv}C\text{—}H} \xrightarrow[Ni]{H_2} \underset{\text{ইথিলিন}}{H_2C{=}CH_2} \xrightarrow[Ni]{H_2} \underset{\text{ইথেন}}{H_3C\text{—}CH_3}$$

(4) ভার্জের বিক্রিয়া (Wurtz's reaction) **ঃ অ্যালকাইল হ্যালাইডের ইথার দ্রবণে ধাতব সোডিয়াম যোগ করলে অ্যালকেন উৎপন্ন হয়।** কোনো অ্যালকিল হ্যালাইডে (RX) যত সংখ্যক কার্বন পরমাণু থাকে, এই বিক্রিয়ার তার দ্বিগুণ সংখ্যক কার্বন পরমাণুবিশিষ্ট অ্যালকেন উৎপন্ন হয়। ভার্জের বিক্রিয়া দ্বারা মিথেন উৎপন্ন করা যায় না।

$$RX + 2Na + RX \rightarrow R\text{—}R + 2NaX \qquad (X = Cl, Br, I)$$

এই পদ্ধতিতে মিথাইল আয়োডাইডের সঙ্গে সোডিয়াম ধাতুর বিক্রিয়ায় **ইথেন** উৎপন্ন হয়।

$$CH_3\boxed{I + 2Na + I}CH_3 \rightarrow CH_3\text{—}CH_3 + 2NaI$$

এই বিক্রিয়া অ্যালকিল হ্যালাইড হিসাবে **অ্যালকিল ব্রোমাইড ও আয়োডাইড** ব্যবহার করা হয়। **টারসিয়ারি অ্যালকিল হ্যালাইড ভার্জের বিক্রিয়া করে না। জোড় সংখ্যক C পরমাণু যুক্ত অ্যালকেন প্রস্তুতির ক্ষেত্রে এই বিক্রিয়াটি উপযুক্ত।**

(5) কোল্‌বের বিক্রিয়া (Kolbe's Reaction) **ঃ প্ল্যাটিনাম তড়িদ্দ্বারের সাহায্যে সম্পৃক্ত মনো-কার্বক্সিলিক অ্যাসিডের সোডিয়াম বা পটাশিয়াম লবণের গাঢ় জলীয় দ্রবণের তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করে অ্যালকেন প্রস্তুত করা যায়।** সোডিয়াম বা পটাশিয়াম অ্যাসিটেটের জলীয় দ্রবণের তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করলে ইথেন পাওয়া যায়। এই পদ্ধতিতে মিথেন প্রস্তুত হয় না।

$$2CH_3COONa \rightarrow 2CH_3COO^- + 2Na^+\ ; \quad H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$$

ক্যাথোডে ঃ $2H^+ + 2e \rightarrow H_2\uparrow$ **অ্যানোডে ঃ** $2CH_3COO^- - 2e \rightarrow 2CH_3COO \rightarrow C_2H_6 + 2CO_2\uparrow$

(6) অ্যালডিহাইড এবং কিটোনের বিজারণ দ্বারা ঃ কার্বনিল মূলক যুক্ত যৌগ, যেমন অ্যালডিহাইড বা কিটোনকে জিঙ্ক অ্যামালগাম এবং গাঢ় HCl দ্বারা বিজারিত করে অ্যালকেন প্রস্তুত করা যায়। এই বিক্রিয়া ক্লিমেনশন বিজারণ (Clemenson reduction) **নামে পরিচিত।**

যেমন, অ্যাসিট্যালডিহাইডকে Zn এবং গাঢ় HCl-এর দ্বারা বিজারিত করলে **ইথেন এবং ফর্ম্যালডিহাইডকে বিজারিত করে মিথেন পাওয়া যায়।**

$$\underset{\text{অ্যাসিট্যালডিহাইড}}{CH_3CHO} \xrightarrow[Zn/HCl]{[4H]} \underset{\text{ইথেন}}{C_2H_6} + H_2O; \quad \underset{\text{অ্যাসিটোন}}{CH_3COCH_3} \xrightarrow[Zn/HCl]{4[H]} CH_3CH_2CH_3 + H_2O$$

(7) লাল P এবং HI-এর মিশ্রণের সাহায্যে বিজারণ দ্বারা ঃ 150° তাপমাত্রায় সামান্য লাল ফসফরাস এবং গাঢ় হাইড্রো-আয়োডিক অ্যাসিডের মিশ্রণ দ্বারা, অ্যালকোহল, অ্যালডিহাইড, কিটোন এবং কার্বক্সিলিক অ্যাসিড বিজারিত হয়ে অ্যালকেন উৎপন্ন করে।

$$\underset{\text{অ্যাসিট্যালডিহাইড}}{CH_3CHO} + 4HI \xrightarrow[150°C]{P} \underset{\text{ইথেন}}{C_2H_6} + 2I_2 + H_2O$$

$$CH_3COOH + 6HI \xrightarrow[250°C]{P} \underset{\text{ইথেন}}{C_2H_6} + 3I_2 + 2H_2O$$

(8) সংশ্লেষণ পদ্ধতি (Synthetic method) **ঃ কার্বন মনোক্সাইড বা কার্বন ডাই-অক্সাইড ও হাইড্রোজেনের মিশ্রণকে** 250°C—300°C তাপমাত্রায় **নিকেল চূর্ণের** উপর দিয়ে চালনা করলে মিথেন উৎপন্ন হয়।

$$CO + 3H_2 \xrightarrow[Ni]{300°C} CH_4 + H_2O; \qquad CO_2 + 4H_2 \xrightarrow[Ni]{300°C} CH_4 + 2H_2O$$

3.16. অ্যালকেন বা প্যারাফিনের সাধারণ ধর্ম [General properties of Alkanes]

[A] ভৌতধর্ম ঃ সাধারণ উষ্ণতায় ও চাপে **মিথেন থেকে বিউটেন পর্যন্ত অ্যালকেনগুলি বর্ণহীন গ্যাসীয় পদার্থ।** তারপর **কার্বন পরমাণুর সংখ্যা যত বাড়ে ততই তরল থেকে ক্রমে কঠিন হয়। এরা জলে অদ্রাব্য কিন্তু জৈব দ্রাবকে দ্রাব্য।**

[B] রাসায়নিক ধর্ম ঃ অ্যালকেন সাধারণত নিষ্ক্রিয় পদার্থ, অ্যাসিড, ক্ষার বা অন্য জারক বা বিজারক পদার্থের সঙ্গে সহজে বিক্রিয়া করে না। তবে উপযুক্ত পরিবেশে বিক্রিয়া ঘটালে **প্রতিস্থাপন বিক্রিয়ার** দ্বারা যৌগ গঠন করে।

(1) জারণ (Oxidation) **ঃ সহজ দাহ্য** বলে অ্যালকেন যৌগকে বায়ু কিংবা অক্সিজেনের মধ্যে জ্বালালে জ্বলে ওঠে এবং **জল ও কার্বন ডাইঅক্সাইড** উৎপন্ন করে। কম বায়ু বা **কম O_2-এর মধ্যে দহন করলে কার্বন ও কার্বন মনোক্সাইড উৎপন্ন হয়।**

$$2C_2H_6 + 7O_2 \rightarrow 4CO_2 + 6H_2O; \qquad CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$$

(2) হ্যালোজিনেশন (Halogenation) **ঃ** অন্ধকারে অ্যালকেনের সঙ্গে Cl_2-এর কোনো বিক্রিয়া হয় না। **বিক্ষিপ্ত সূর্যালোক, তাপ এবং অনুঘটকের উপস্থিতিতে অ্যালকেনের H পরমাণুগুলি এক-এক করে Cl পরমাণু দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে অ্যালকেনের বিভিন্ন ক্লোরাইড যৌগ উৎপন্ন করে।** ব্রোমিনের সঙ্গেও এরকম বিক্রিয়া হয়, তবে খুব ধীরে ধীরে। I_2-এর সঙ্গে অ্যালকেনের প্রতিস্থাপন বিক্রিয়া হয় অনুঘটকের উপস্থিতিতে। বিক্রিয়ায় গতির ক্রম হল Cl>Br>I.

$$\underset{\text{অ্যালকেন}}{RCH_3} \xrightarrow[-HX]{X_2} RCH_2X \xrightarrow[-HX]{X_2} RCHX_2 \xrightarrow[-HX]{X_2} RCX_3$$

$$\underset{\text{মিথেন}}{CH_4} \xrightarrow[-HCl]{Cl_2} CH_3Cl \xrightarrow[-HCl]{Cl_2} CH_2Cl_2 \xrightarrow[-HCl]{Cl_2} CHCl_3 \xrightarrow[-HCl]{Cl_2} CCl_4$$

[প্রোপেনে প্রাইমারি এবং সেকেন্ডারি H পরমাণু থাকায় Cl_2-এর সঙ্গে প্রতিস্থাপন বিক্রিয়ায় দুইরকম মনো প্রতিস্থাপন বিক্রিয়াজাত পদার্থ দেয়।

$$\underset{\text{প্রোপেন}}{CH_3—CH_2—CH_3} + Cl_2 \longrightarrow \underset{\text{2-ক্লোরো প্রোপেন}}{CH_3—CH(Cl)—CH_3}$$

$$\underset{\text{প্রোপেন}}{CH_3—CH_2—CH_3} + Cl_2 \longrightarrow \underset{\text{1-ক্লোরো প্রোপেন}}{CH_3—CH_2—CH_2Cl}\ ]$$

(3) নাইট্রেশন (Nitration) **:** **সম্পৃক্ত হাইড্রোকার্বনের** H পরমাণুকে $[NO_2]$ গ্রুপ দ্বারা প্রতিস্থাপিত করার পদ্ধতিকে নাইট্রেশন বলে। **উচ্চ উষ্ণতায়** (450°C—475°C) **কয়েকটি গ্যাসীয় অ্যালকেনকে** HNO_3 **বাষ্পের সঙ্গে বিক্রিয়া করালে নাইট্রো-অ্যালকেন উৎপন্ন করে।**

$$\underset{\text{নাইট্রো অ্যালকেন}}{R—H + HNO_3 \rightarrow R—NO_2} + H_2O \; ; \quad CH_4 + HNO_3 \rightarrow \underset{\text{নাইট্রো মিথেন}}{CH_3NO_2} + H_2O$$

(4) সালফোনেশন (Sulphonation) **:** সম্পৃক্ত হাইড্রোকার্বনের H পরমাণুকে $[SO_3H]$ গ্রুপ দ্বারা প্রতিস্থাপিত করার পদ্ধতিকে সালফোনেশন বলে। **400°C উষ্ণতায় ধূমায়মান H_2SO_4, মিথেন এবং ইথেনের সঙ্গে বিক্রিয়া করে যথাক্রমে মিথেন সালফোনিক অ্যাসিড এবং ইথেন সালফোনিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে।**

$$CH_4 + OH.HSO_3 \xrightarrow{400°C} CH_3SO_3H + H_2O$$

(5) তাপ বিয়োজন (Pyrolysis or cracking) **:** উচ্চতর অ্যালকেন অর্থাৎ বেশি সংখ্যক C পরমাণুবিশিষ্ট অ্যালকেন উচ্চ তাপে বিশ্লিষ্ট হয়ে কম সংখ্যক C পরমাণুবিশিষ্ট অ্যালকেন, হাইড্রোজেন এবং অ্যালকিনে পরিণত হয়।

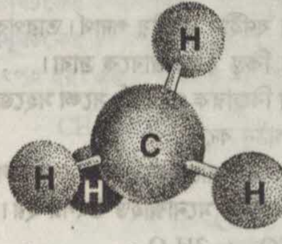
$$\underset{\text{প্রোপেন}}{CH_3—CH_2—CH_3} \longrightarrow \underset{\text{প্রোপিন}}{CH_3—CH{=}CH_2} + H_2$$

(6) ডিহাইড্রোজিনেশন (Dehydrogenation) **:** 500°C—750°C উষ্ণতায় উপযুক্ত অনুঘটকের $(Cr_2O_3–Al_2O_3)$ উপর দিয়ে অ্যালকেন চালনা করলে অ্যালকেনের অণু থেকে H পরমাণু অপসারিত হয়ে অ্যালকিনে পরিণত হয়। যেমন,

$$\underset{\text{ইথেন}}{CH_3—CH_3} \xrightarrow[500°C—700°C]{Cr_2O_3 + Al_2O_3} \underset{\text{ইথিলিন}}{CH_2{=}CH_2} + H_2$$

3.17. মিথেন [Methane]

প্যারাফিন বা অ্যালকেন শ্রেণির প্রথম যৌগের নাম মিথেন, আণবিক সংকেত CH_4। মিথেনের অপর নাম মার্স গ্যাস (Marsh gas) কারণ জলা জায়গায় উদ্ভিদ ও জীবজন্তুর পচনের ফলে অর্থাৎ উদ্ভিদ থেকে প্রাপ্ত সেলুলোজের ব্যাকটিরিয়া ঘটিত বিয়োজনে এই গ্যাস উৎপন্ন হয়। পেট্রোলিয়াম খনিতে পাওয়া প্রাকৃতিক গ্যাসে প্রচুর পরিমাণে মিথেন গ্যাস থাকে।



চিত্র 3.14 : মিথেন অণুর গঠন

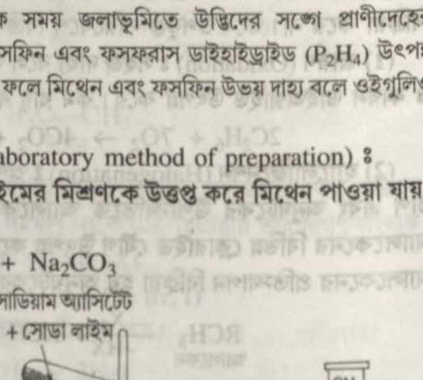
আলেয়া (Willo the wisp)—অনেক সময় জলাভূমিতে উদ্ভিদের সঙ্গে প্রাণীদেহের ব্যাকটিরিয়া ঘটিত পচনে মিথেনের সঙ্গে ফসফিন এবং ফসফরাস ডাইহাইড্রাইড (P_2H_4) উৎপন্ন হয়। P_2H_4 বায়ুতে নিজে থেকেই জ্বলে ওঠে। ফলে মিথেন এবং ফসফিন উভয় দাহ্য বলে ওইগুলিও জ্বলে ওঠে, একেই আমরা আলেয়া বলি।

(1) পরীক্ষাগারে মিথেন প্রস্তুতি (Laboratory method of preparation) **:**

[A] নীতি : পরীক্ষাগারে অনার্দ্র সোডিয়াম অ্যাসিটেট এবং শুষ্ক সোডালাইমের মিশ্রণকে উত্তপ্ত করে মিথেন পাওয়া যায়। [সোডালাইম হল সোডিয়াম হাইড্রক্সাইড ও ক্যালশিয়াম অক্সাইডের মিশ্রণ]

$$CH_3 \boxed{COONa + NaO} H \rightarrow CH_4 + Na_2CO_3$$

[B] পদ্ধতি : একটি হার্ড গ্লাস টেস্টটিউবের মধ্যে **একভাগ ওজনের অনার্দ্র সোডিয়াম অ্যাসিটেটের সঙ্গে ওর তিনগুণ ওজনের সোডা লাইম** নিয়ে ভালভাবে মিশিয়ে রাখা হয়। টেস্টটিউবের মুখে কর্কের মধ্য দিয়ে একটি নির্গম নল লাগিয়ে নলের শেষ প্রান্তটিকে জলপূর্ণ একটি পাত্রের মধ্যে ডোবানো অবস্থায় রাখা হল। ক্ল্যাম্পের সাহায্যে হার্ড গ্লাস টেস্টটিউবকে স্ট্যান্ডের সঙ্গে আটকে বার্নার দিয়ে টেস্টটিউবের মিশ্রণটিকে উত্তপ্ত করা হল। উত্তপ্ত করার ফলে মিথেন গ্যাস উৎপন্ন হয়। টেস্টটিউবের মধ্যস্থ বায়ু বেরিয়ে গেলে পর, একটি জলপূর্ণ গ্যাসজারকে নির্গম নলের শেষ প্রান্তের ওপর উপুড় করে দিলে **জলের** অপসারণ দ্বারা মিথেন গ্যাসজারে জমা হয়। এই গ্যাসের সঙ্গে কিছু ইথিলিন, হাইড্রোজেন, অ্যাসিটিলিন, জলীয় বাষ্প প্রভৃতি অশুদ্ধি হিসাবে বর্তমান থাকে।



চিত্র 3.15 : মিথেন অণুর গঠন

(C) বিশুদ্ধিকরণ ঃ (i) মিথেন থেকে অ্যাসিটিলিন অপসারণ—উৎপন্ন গ্যাসকে **অ্যামোনিয়াযুক্ত কিউপ্রাস ক্লোরাইড** দ্রবণের মধ্য দিয়ে চালনা করে **অ্যাসিটিলিন** মুক্ত করা হয়। **(ii) মিথেন থেকে ইথিলিন অপসারণ**—ঘন H_2SO_4-এর মধ্যে দিয়ে চালনা করে **মিথেন থেকে ইথিলিন ও জলীয় বাষ্প** মুক্ত করে পারদের উপর সংগ্রহ করলে শুষ্ক বিশুদ্ধ মিথেন গ্যাস পাওয়া যায়।

মিথেন থেকে H_2 অপসারণ—মিথেন ও H_2-এর মিশ্রণকে কাচের বাল্‌বে রাখা প্যালাডিয়াম চূর্ণের উপর দিয়ে চালনা করলে H_2 গ্যাস Pd ধাতু দ্বারা অন্তর্ধৃত হয় —CH_4 নির্গম নল দিয়ে বেরিয়ে যায়। একে সংগ্রহ করা হয়।

(2) সাধারণ উষ্ণতায় মিথাইল আয়োডাইড থেকে মিথেন প্রস্তুতি ঃ

নীতি ঃ জিঙ্ক কপার কাপল ও ইথানল দ্বারা মিথাইল আয়োডাইডের বিজারণ ঘটিয়ে বিশুদ্ধ মিথেন প্রস্তুত করা হয়।

$$\underset{\text{মিথাইল আয়োডাইড}}{CH_3I} + Zn + C_2H_5OH \rightarrow \underset{\text{মিথেন}}{CH_4} + Zn(OC_2H_5)I$$

(3) অ্যালুমিনিয়াম কার্বাইডের সঙ্গে সাধারণ উষ্ণতায় জলের বা লঘু অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় মিথেন প্রস্তুত হয়।

$$Al_2C_3 + 12H_2O = 4Al(OH)_3 + CH_4$$

(4) জিঙ্ক ডাইমিথাইল বা **মিথাইল ম্যাগনেশিয়াম আয়োডাইডের** (গ্রিগনার্ড বিকারক) সঙ্গে জলের বিক্রিয়ায় সাধারণ উষ্ণতায় মিথেন প্রস্তুত হয়।

$$\underset{\text{জিঙ্ক মিথাইল}}{Zn(CH_3)_2} + 2H_2O \rightarrow \underset{\text{মিথেন}}{2CH_4} + Zn(OH)_2$$

(5) সংশ্লেষণ পদ্ধতি ঃ CO অথবা CO_2 এবং H_2-এর মিশ্রণকে 250°C—300°C উষ্ণতায় Ni-চূর্ণের উপর দিয়ে চালনা করলে মিথেন উৎপন্ন হয়।

$$CO + 3H_2 \xrightarrow[Ni]{300^\circ C} CH_4 + H_2O\ ; \quad CO_2 + 4H_2 \xrightarrow[Ni]{300^\circ C} CH_4 + 2H_2O$$

● **মিথেনের ধর্ম** (Properties of Methane) ঃ

[A] ভৌতধর্ম ঃ মিথেন একটি গ্যাস। এর বর্ণ নেই, গন্ধ নেই, স্বাদও নেই। মিথেন বিষাক্ত নয়। বায়ুর চেয়ে হালকা এবং জলে খুব সামান্য দ্রবীভূত হয়, **অ্যালকোহল, অ্যাসিটোন ও ইথারে দ্রবণীয়**। ঠান্ডা করলে মিথেন তরল ও কঠিনে পরিণত হয়। **স্ফুটনাঙ্ক** (–161·4°C), **গলনাঙ্ক** (–185°C)।

[B] রাসায়নিক ধর্ম ঃ মিথেন সম্পৃক্ত হাইড্রোকার্বন তাই সুস্থিত। সাধারণ অবস্থায় কোনো অ্যাসিড, ক্ষারক বা কোনো জারক বা বিজারকের সঙ্গে মিথেনের বিক্রিয়া হয় না।

(1) দহন-ক্রিয়া—অক্সিজেন বা বায়ুর সঙ্গে ক্রিয়া ঃ মিথেন দহন-ক্রিয়ায় সাহায্য করে না, কিন্তু নিজে O_2-এর উপস্থিতিতে অনুজ্জ্বল শিখায় জ্বলে CO_2 এবং H_2O উৎপন্ন করে। $CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O$

সব হাইড্রোকার্বন যৌগই দহনের ফলে জল ও কার্বন ডাইঅক্সাইড উৎপন্ন করে।

(2) প্রতিস্থাপন বিক্রিয়া (Substitution reaction) ঃ মিথেন সম্পৃক্ত হাইড্রোকার্বন, সেজন্য এর সমস্ত বিক্রিয়াই হাইড্রোজেন প্রতিস্থাপন দ্বারা সম্পন্ন হয়।

যে বিক্রিয়ায় কোনো যৌগের মধ্যস্থ কোনো পরমাণু বা মূলক, অন্য কোনো পরমাণু বা মূলক দ্বারা সোজাসুজি প্রতিস্থাপিত হয়ে নতুন যৌগ উৎপন্ন হয়, সেই বিক্রিয়াকে প্রতিস্থাপন বিক্রিয়া বলে। প্রতিস্থাপিত পরমাণু বা মূলকের স্থান নতুন পরমাণু বা মূলক দ্বারা অধিকৃত হয়। এইভাবে যে যৌগ উৎপন্ন হয় তাকে **প্রতিস্থাপিত যৌগ** বলে।

ক্লোরিনের সঙ্গে বিক্রিয়া ঃ (i) অন্ধকারে মিথেন ও ক্লোরিনের মধ্যে বিক্রিয়া হয় না। প্রখর সূর্যের আলোয় মিথেন ও ক্লোরিনের মিশ্রণ বিস্ফোরণসহ বিক্রিয়া করে এবং কালো কার্বনের ঝুল উৎপন্ন হয়।

$$CH_4 + 2Cl_2 \rightarrow C + 4HCl$$

(ii) বিক্ষিপ্ত (diffused) **সূর্যালোকে** ক্লোরিন গ্যাস ও মিথেনের বিক্রিয়ায় মিথেনের হাইড্রোজেন পরমাণুগুলি একটি একটি করে ক্লোরিন পরমাণুর দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে বিভিন্ন ক্লোরাইড যৌগ উৎপন্ন হয়।

$$\underset{\text{মিথেন}}{CH_4} \xrightarrow[-HCl]{Cl_2} \underset{\text{মিথাইল ক্লোরাইড}}{CH_3Cl} \xrightarrow[-HCl]{Cl_2} \underset{\text{মিথিলিন ক্লোরাইড}}{CH_2Cl_2} \xrightarrow[-HCl]{Cl_2} \underset{\text{ক্লোরোফর্ম}}{CHCl_3} \xrightarrow[-HCl]{Cl_2} \underset{\text{কার্বনটেট্রা ক্লোরাইড}}{CCl_4}$$

খুব অতিরিক্ত পরিমাণ মিথেন ব্যবহার করলে বিক্রিয়াটি প্রথম ধাপে সীমাবদ্ধ থাকে অর্থাৎ মিথাইল ক্লোরাইড পাওয়া যায়। আংশিক পাতন দ্বারা CH_4 এবং CH_3Cl-কে পৃথক করা যায়।

(iii) ব্রোমিনও মিথেনের সঙ্গে ক্লোরিনের মতো বিক্রিয়া করে, কিন্তু যেহেতু ব্রোমিন ক্লোরিনের চেয়ে কম সক্রিয়, সেজন্য বিক্রিয়া ধীরে ধীরে হয়।

(iv) আয়োডিনের সঙ্গে মিথেনের বিক্রিয়া খুবই ধীরে ধীরে হয় এবং বিক্রিয়াটি উভমুখী (reversible) হয়।

$$CH_4 + I_2 \rightleftharpoons CH_3I + HI$$

উৎপন্ন HI-কে দূর করতে পারলে বিক্রিয়াটি একমুখী হয়। এর জন্য **আয়োডিক অ্যাসিড (HIO_3), নাইট্রিক অ্যাসিড (HNO_3)** প্রভৃতি জারক-পদার্থের উপস্থিতিতে বিক্রিয়াটি ঘটে।

$$5HI + HIO_3 = 3H_2O + 3I_2$$

(3) ফ্লুওরিনের সঙ্গে বিক্রিয়া ঃ ফ্লুওরিনের সঙ্গে মিথেনের বিক্রিয়া প্রচন্ড বিস্ফোরণ-সহ ঘটে কার্বন ও হাইড্রোফ্লুওরিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।

$$CH_4 + 2F_2 = C + 4HF$$

সম্প্রতি নিষ্ক্রিয় গ্যাসের উপস্থিতিতে বিশেষ পদ্ধতি দ্বারা ফ্লুওরিনের সঙ্গে মিথেনের বিক্রিয়া দ্বারা বিভিন্ন ফ্লুওরাইড যৌগ উৎপন্ন করা সম্ভব হয়েছে।

● **ক্লোরোফ্লুওরো মিথেন—ফ্রিয়ন ঃ** মিথেনের H পরমাণুগুলি Cl এবং F পরমাণু দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে ক্লোরোফ্লুওরো মিথেন উৎপন্ন হয়—এই যৌগগুলিকে ফ্রিয়ন বলে।

(4) ওজোনের সঙ্গে বিক্রিয়া ঃ মিথেন ও ওজোনের বিক্রিয়ায় মিথেন জারিত হয়ে **ফর্ম্যালডিহাইড উৎপন্ন করে।** এই বিক্রিয়ার সাহায্যে মিথেনের উপস্থিতি জানতে পারা যায়। $CH_4 + 2O_3 \rightarrow HCHO + H_2O + 2O_2$

(5) মিথেনের বিয়োজন ঃ (i) মিথেন ও জলীয় বাষ্পের মিশ্রণকে 800°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত **অ্যালুমিনার** (alumina) **ওপর রাখা নিকেল চূর্ণের** ওপর দিয়ে চালনা করলে মিথেন বিয়োজিত হয়, কার্বন মনোক্সাইড ও হাইড্রোজেন উৎপন্ন হয়।

$$CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2$$

(ii) 1000°C **উষ্ণতায় মিথেন বিয়োজিত হয় এবং সূক্ষ্ম কার্বন** গুঁড়া উৎপন্ন হয়। একে **কার্বন ব্ল্যাক** (Carbon Black) বলে।

$$CH_4 \rightarrow C + 2H_2$$

(6) HNO_3-এর সঙ্গে বিক্রিয়া ঃ 350°C—400°C উষ্ণতায় HNO_3 বাষ্প মিথেনের সঙ্গে বিক্রিয়া করে **নাইট্রো-মিথেন** উৎপন্ন করে।

$$CH_4 + OHNO_2 \rightarrow CH_3NO_2 + H_2O$$

(7) মিথেন থেকে অ্যাসিটিলিন প্রস্তুতি ঃ 1500°C উষ্ণতায় অক্সিজেন দ্বারা মিথেনের আংশিক জারণের ফলে অ্যাসিটিলিন উৎপন্ন হয়।

$$6CH_4 + O_2 \rightarrow 2[CH{\equiv}CH] + 2CO + 10H_2$$

(8) মিথেন থেকে মিথানল— 9 ঃ 1 আয়তন অনুপাতে মিথেন এবং O_2-এর মিশ্রণকে 100 atm চাপে এবং 200°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত Cu টিউবের মধ্য দিয়ে চালনা করলে মিথানল উৎপন্ন হয়। $2CH_4 + O \rightarrow 2CH_3OH$

● **মিথেনের ব্যবহার** (Uses of Methane) ঃ

(i) কার্বন ব্ল্যাক উৎপন্ন করার জন্য মিথেন ব্যবহার করা হয়। ছাপার কালি, রং, মোটর টায়ারে কার্বন ব্ল্যাক ব্যবহৃত হয়। **(ii) হাইড্রোজেন গ্যাসের পণ্য উৎপাদন করার** জন্যও মিথেন ব্যবহৃত হয়। **(iii) মিথাইল ক্লোরাইড, মিথিলিন ক্লোরাইড, মিথাইল অ্যালকোহল ও ফর্ম্যালডিহাইড উৎপন্ন করার** জন্য মিথেন ব্যবহার করা হয়। **(iv)** পেট্রোলিয়াম খনিতে যে প্রাকৃতিক গ্যাস পাওয়া যায় তার 90% হল মিথেন। অবশিষ্ট গ্যাসগুলি হল ইথেন, প্রোপেন, বিউটেন এবং কম স্ফুটনাঙ্কের পেন্টেন। প্রাকৃতিক গ্যাসকে উচ্চ চাপে তরলে পরিণত করে স্টিলের সিলিন্ডারে রাখা হয়—এই তরলীকৃত গ্যাসটি C.N.G. (Compound Natural Gas) নামে পরিচিত। বর্তমানে এই গ্যাস রান্নার কাজে, মোটরগাড়ির জ্বালানি রূপে ব্যবহৃত হচ্ছে। এই গ্যাস ব্যবহারে বায়ুদূষণ অনেক কম হয়।

3.18. ইথেন [(Ethane), $CH_3—CH_3$]

● **ইথেনের পরীক্ষাগার প্রস্তুতি** (Laboratory method of preparation of Ethane) ঃ

(1) অনার্দ্র সোডিয়াম প্রোপিয়োনেট ও সোডা লাইমের মিশ্রণকে উত্তপ্ত করে ইথেন উৎপন্ন করা হয়।
যন্ত্রপাতি ফিটিং এবং পরীক্ষা পদ্ধতি সোডিয়াম অ্যাসিটেট থেকে মিথেন প্রস্তুতির মতো।

$$\underset{\text{সোডিয়াম প্রোপিয়োনেট}}{CH_3CH_2COONa} + NaOH \xrightarrow[\Delta]{CaO} \underset{\text{ইথেন}}{CH_3—CH_3} + Na_2CO_3$$

(2) ইথাইল আয়োডাইডের বিজারণ দ্বারা ঃ জিঙ্ক-কপার যুগল বা Al-অ্যামালগাম এবং ইথানলের সাহায্যে ইথাইল আয়োডাইডকে বিজারিত করলে ইথেন উৎপন্ন হয়।

$$C_2H_5I \xrightarrow[\text{ইথানল}]{\text{Zn-Cu কাপল}} \underset{\text{ইথেন}}{CH_3—CH_3} + HI$$

(3) ভার্জ বিক্রিয়া দ্বারা (Wurtz reaction) ঃ মিথাইল আয়োডাইডকে শুষ্ক ইথারে দ্রবীভূত করে ওই দ্রবণে ধাতব সোডিয়াম যোগ করলে ইথেন গ্যাস উৎপন্ন হয়।

$$CH_3 \boxed{I + 3Na + I} CH_3 \rightarrow CH_3—CH_3 + 2NaI$$

(4) কোল্‌বের বিক্রিয়া ঃ প্লাটিনাম অ্যানোড এবং কপার ক্যাথোড ব্যবহার করে সোডিয়াম বা পটাশিয়াম অ্যাসিটেটের গাঢ় জলীয় দ্রবণে তড়িৎপ্রবাহ করলে, অ্যানোডে ইথেন এবং CO_2 নির্গত হয়। ক্যাথোডে হাইড্রোজেন গ্যাস নির্গত হয়—বিক্রিয়া শেষে NaOH বা KOH অবশেষ রূপে পড়ে থাকে।

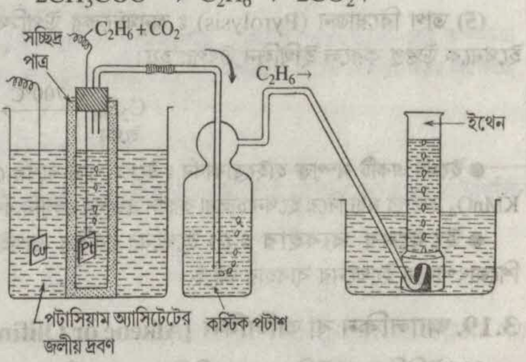
$$\begin{matrix} CH_3\,COOK \\ CH_3\,COOK \end{matrix} + 2H_2O \rightarrow \begin{matrix} CH_3 \\ | \\ CH_3 \end{matrix} + 2CO_2 + 2KOH + H_2$$

বিক্রিয়া ঃ $CH_3COOK \rightleftharpoons CH_3COO^- + K^+$; $H_2O = H^+ + OH^-$

ক্যাথোডে ঃ $2H^+ + 2e \rightarrow H_2\uparrow$; অ্যানোডে ঃ $2CH_3COO^- - 2e \rightarrow 2CH_3COO$

$$2CH_3COO \rightarrow C_2H_6 + 2CO_2\uparrow$$

পদ্ধতি ঃ একটি বড়ো পাত্রের মধ্যে সচ্ছিদ্র পোর্সেলিন পাত্র রাখা হয়। পাত্র দুটির মধ্যে পটাশিয়াম অ্যাসিটেটের গাঢ় জলীয় দ্রবণ থাকে। বড়ো পাত্রের দ্রবণে কপার ক্যাথোড এবং পোর্সেলিন পাত্রের দ্রবণে প্ল্যাটিনাম অ্যানোড আংশিক ডোবানো থাকে। সচ্ছিদ্র পাত্রটির ওপরের দিকে একটি কর্কের মধ্য দিয়ে একটি নির্গম নল লাগানো থাকে। এখন ক্যাথোড ও অ্যানোডের মধ্য দিয়ে তড়িৎপ্রবাহ করলে অ্যানোডে ইথেন এবং CO_2 উৎপন্ন হয় এবং ক্যাথোডে H_2 নির্গত হয়। নির্গমি নল দিয়ে CO_2 এবং ইথেন বেরিয়ে যায়। উৎপন্ন গ্যাস মিশ্রণকে কস্টিক পটাশ দ্রবণের মধ্যে চালনা করে CO_2-কে পৃথক করা হয়। CO_2 মুক্ত ইথেনকে জলের নিম্ন অপসারণ দ্বারা গ্যাসজারে সংগ্রহ করা হয়।



চিত্র 3.16 ঃ কোলবে পদ্ধতিতে ইথেন প্রস্তুতি

(5) গ্রিগনার্ড বিকারক থেকে ঃ ইথাইল ম্যাগনেশিয়াম আয়োডাইডের সঙ্গে জলের বিক্রিয়ায় বিশুদ্ধ ইথেন উৎপন্ন হয়।

$$C_2H_5—Mg\text{-}I + H_2O \rightarrow C_2H_6 + Mg(OH)I$$

(6) ইথিলিন এবং H_2 গ্যাসের মিশ্রণকে 250°C উষ্ণতায় Ni অনুঘটকের ওপর দিয়ে চালনা করলে ইথেন উৎপন্ন হয়। অ্যাসিটিলিনকে অনুরূপভাবে Ni অনুঘটকের উপস্থিতিতে H_2 দ্বারা বিজারিত করলে ইথেন পাওয়া যায়।

$$\underset{\text{ইথিলিন}}{H_2C{=}CH_2} + H_2 \xrightarrow[200°C]{Ni} \underset{\text{ইথেন}}{H_3C—CH_3}, \quad \underset{\text{অ্যাসিটিলিন}}{H—C{\equiv}CH} + 2H_2 \xrightarrow[200°C]{Ni} \underset{\text{ইথেন}}{H_3C—CH_3}$$

●ইথেনের ধর্ম (Properties of Ethane) ঃ

[A] ভৌতধর্ম ঃ বর্ণ ও গন্ধহীন দাহ্য গ্যাস। –88·3°C উষ্ণতায় তরলে পরিণত হয়। এর স্ফুটনাঙ্ক –88·3°C; জলে সামান্য দ্রাব্য কিন্তু **অ্যালকোহল এবং ইথারে দ্রাব্য।**

[B] রাসায়নিক ধর্ম (Chemical properties) ঃ (1) নিষ্ক্রিয়তা ঃ ইথেন সম্পৃক্ত হাইড্রোকার্বন, তাই বেশ সুস্থিত যৌগ। মিথেনের মতোই ক্ষার, অ্যাসিড, জারক বা বিজারক পদার্থের সঙ্গে সহজে বিক্রিয়া করে না। ইথেন রাসায়নিকভাবে নিষ্ক্রিয়।

(2) দহন ঃ বায়ু বা O_2-এর সঙ্গে বিক্রিয়া—বায়ুতে বা O_2-এর মধ্যে জ্বালালে জ্বলে ওঠে এবং CO_2 এবং H_2O উৎপন্ন করে।

$$2C_2H_6 + 7O_2 \rightarrow 4CO_2 + 6H_2O$$

(3) প্রতিস্থাপন বিক্রিয়া—মিথেনের মতো ইথেনও বিক্ষিপ্ত সূর্যালোক Cl_2 বা Br_2-এর সঙ্গে **প্রতিস্থাপন বিক্রিয়া** দ্বারা বিভিন্ন যৌগ উৎপন্ন করে।

$$\underset{\text{ইথেন}}{C_2H_6} \xrightarrow[-HCl]{Cl_2} \underset{\text{ইথাইল ক্লোরাইড}}{C_2H_5Cl} \xrightarrow[-HCl]{Cl_2} \underset{\text{ডাইক্লোরো ইথেন}}{C_2H_4Cl_2} \xrightarrow[-HCl]{Cl_2} \underset{\text{ট্রাইক্লোরো ইথেন}}{C_2H_3Cl_3} \xrightarrow[-HCl]{Cl_2} C_2H_2Cl_4 \ \ldots\ldots$$

এইভাবে H পরমাণুগুলি একের পর এক Cl পরমাণু দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে যে শেষ যৌগ উৎপন্ন করে তার নাম **হেক্সাক্লোরো ইথেন** (C_2Cl_6)।

ইথেন 2টি মিথাইল মূলক বর্তমান। তাই Cl_2 বা Br_2-এর সঙ্গে প্রতিস্থাপন বিক্রিয়ায় দ্বি-প্রতিস্থাপিত যৌগের ক্ষেত্রে দুটি আইসোমার গঠিত হতে পারে—যেমন,

$$\underset{\text{ইথেন}}{CH_3—CH_3} + Cl_2 \rightarrow \underset{\text{ইথাইল ক্লোরাইড বা ক্লোরো ইথেন}}{CH_3—CH_2Cl}$$

$$\underset{\text{ক্লোরো ইথেন}}{CH_3—CH_2Cl} + Cl_2 \rightarrow \underset{\text{1,2-ডাইক্লোরো ইথেন}}{CH_2Cl—CH_2Cl}$$

$$\underset{\text{ক্লোরো ইথেন}}{CH_3—CH_2Cl} + Cl_2 \rightarrow \underset{\text{1,1-ডাইক্লোরো ইথেন}}{CH_3—CHCl_2}$$

আয়োডিনের সঙ্গে ইথেনের বিক্রিয়া হয় না।

(4) নাইট্রেশন—উচ্চ উষ্ণতায় (400°C) HNO_3 বাষ্পের সঙ্গে বিক্রিয়া দ্বারা নাইট্রো-ইথেন উৎপন্ন করে।

$$C_2H_6 + HNO_3 \rightarrow C_2H_5NO_2 + H_2O$$

(5) তাপ বিয়োজন (Pyrolysis) ঃ অনুঘটকের উপস্থিতিতে উত্তপ্তকরণ দ্বারা—বায়ুর অনুপস্থিতিতে 700°C উষ্ণতায় ইথেনকে উত্তপ্ত করলে **ইথিলিন** উৎপন্ন হয়।

$$\underset{\text{ইথেন}}{C_2H_6} \xrightarrow{700^\circ C} \underset{\text{ইথিলিন}}{C_2H_4} + H_2$$

● **ইথেন একটি সম্পৃক্ত হাইড্রোকার্বন ঃ** ইথেন লাল বর্ণের ব্রোমিন জলের সঙ্গে বিক্রিয়ায় ব্রোমিন জলকে বর্ণহীন করে না। ক্ষারীয় $KMnO_4$ দ্রবণের মধ্য দিয়ে ইথেন চালনা করলে দ্রবণের বেগুনি বর্ণ বর্ণহীন হয় না। এর দ্বারা প্রমাণিত হয় যে, ইথেন সম্পৃক্ত হাইড্রোকার্বন।

● **ইথেনের ব্যবহার ঃ (i)** ইথেনের বেশির ভাগই জ্বালানি রূপে ব্যবহৃত হয়। **(ii)** ইথাইল ক্লোরাইড ও ইথিলিনে শিল্পোৎপাদনে ইথেনের ব্যবহার আছে।

3.19. অ্যালকিন বা অলিফিন [Alkene or Olifin]

[A] ইথিলিন বা ইথিন ও প্রোপিলিন বা প্রোপিনের প্রস্তুতি ঃ

(1) অ্যালকোহলের ডিহাইড্রেশন দ্বারা অর্থাৎ জলের অণুর অপসারণ দ্বারা ঃ ইথানল বা ইথাইল অ্যালকোহলকে 160°C—180°C উষ্ণতায় গাঢ় H_2SO_4 বা গাঢ় ফসফরিক অ্যাসিড দ্বারা নিরুদিত করলে কিংবা 350°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত অ্যালুমিনার ওপর দিয়ে অ্যালকোহল বাষ্প চালনা করলে প্রতিটি অ্যালকোহল অণু থেকে একটি করে জলের অণু অপসারিত হয়ে ইথিন উৎপন্ন হয়।

(I) প্রথম ধাপে, 100°C উষ্ণতায় ইথাইল অ্যালকোহলের সঙ্গে গাঢ় H_2SO_4-এর বিক্রিয়ায় **ইথাইল হাইড্রোজেন সালফেট** উৎপন্ন হয়।

$$C_2H_5OH + H_2SO_4 \xrightarrow{100^\circ C} C_2H_5HSO_4 + H_2O$$

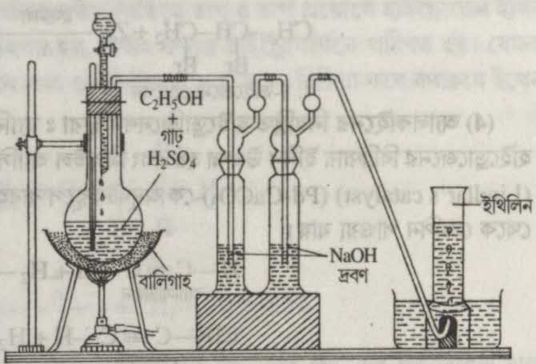
(II) দ্বিতীয় ধাপে, 160°C—170°C উষ্ণতায়, উৎপন্ন **ইথাইল হাইড্রোজেন সালফেট বিশ্লিষ্ট হয়ে ইথিলিন** এবং H_2SO_4 উৎপন্ন করে।

$$C_2H_5HSO_4 \xrightarrow{160^\circ C—170^\circ C} C_2H_4 + H_2SO_4$$

[B] পদ্ধতি ঃ একটি বিন্দুপাতি ফানেল ও নির্গম নল যুক্ত একটি গোলতল ফ্লাস্কের মধ্যে এক ভাগ আয়তনের ইথানল এবং 3 ভাগ আয়তনের গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড, কয়েকটি কাচের টুকরো (ফেনা উৎপন্ন বন্ধ করার জন্য) নেওয়া হয়। ফ্লাস্কটির মুখে

কর্কের মধ্য দিয়ে একটি থার্মোমিটার ফ্লাস্কটির ভেতরে তরলে ডোবানো থাকে। ফ্লাস্কটিকে একটি বালিগাহের উপর বসিয়ে একটি স্ট্যান্ডের সঙ্গে আটকে নির্গম নলটিকে গাঢ় NaOH দ্রবণপূর্ণ গ্যাস ধারকের সঙ্গে যুক্ত করা হয় এবং গ্যাস ধারক থেকে নির্গত নলটির শেষ প্রান্তকে একটি জলপূর্ণ গ্যাসদ্রোণী জলে ডুবিয়ে রাখা হয়। বার্নারের সাহায্যে বালিগাহকে উত্তপ্ত করা হয় এবং এইভাবে ফ্লাস্কের তরলটিকে 160ºC—170ºC উষ্ণতায় উত্তপ্ত করা হয়। তরলটি ফুটতে শুরু করলেই ইথিলিন গ্যাস নির্গত হতে থাকে।

এইভাবে উৎপন্ন ইথিলিনের সঙ্গে সামান্য CO_2 এবং SO_2 মিশ্রিত থাকে। তাই উৎপন্ন ইথিলিনকে গাঢ় NaOH দ্রবণের মধ্য দিয়ে চালনা করে CO_2 এবং SO_2 গ্যাস ইথিলিন নির্গম নলের শেষ প্রান্ত দিয়ে বেরিয়ে আসে। প্রথমে কিছুটা গ্যাস বেরিয়ে যাওয়ার পর জলের নিম্ন অপসারণ দ্বারা ইথিলিন গ্যাসকে গ্যাসজারে সংগ্রহ করা হয়।



চিত্র 3.17 ঃ ইথিলিন প্রস্তুতি

বিক্রিয়ার বেগ যখন কমে আসে, তখন বিন্দুপাতী ফানেলে নেওয়া **সমান আয়তনের ইথাইল অ্যালকোহল ও গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের মিশ্রণ ফোঁটা ফোঁটা করে ফ্লাস্কে যোগ করা হয়।**

(i) ইথিলিন প্রস্তুতিতে 170ºC উষ্ণতায় নিরুদক গাঢ় H_2SO_4-এর দ্বারা ইথাইল অ্যালকোহলের অন্তঃআণবিক নিরুদন হয়।

$$\underset{\boxed{H\quad\quad OH}}{H_2C—CH_2} \xrightarrow[\text{গাঢ় } H_2SO_4]{170^\circ C} H_2C=CH_2 + H_2SO_4 + H_2O$$

(ii) এই বিক্রিয়ায় গাঢ় H_2SO_4 অ্যাসিড **অনুঘটক** এবং **নিরুদকরূপে** কাজ করে।

(iii) এই পদ্ধতিতে গাঢ় **H_2SO_4-এর পরিমাণ কম হলে** কিংবা **ইথাইল অ্যালকোহলের পরিমাণ বেশি হলে** এবং তাপমাত্রা 170ºC—180ºC-এর কম হলে, **2 অণু অ্যালকোহল থেকে এক অণু জল অপসারিত হয়ে ডাই-ইথাইল ইথার উৎপন্ন হয়। এক্ষেত্রে অ্যালকোহলের আন্তরাণবিক নিরুদন হয়।**

$$C_2H_5\boxed{OH + H}OC_2H_5 \xrightarrow[H_2SO_4]{140^\circ C} H_2O + C_2H_5—O—C_2H_5$$

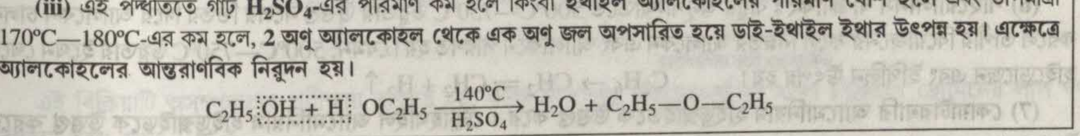
● **ইথিনের শিল্প প্রস্তুতি ঃ** ইথানল বাষ্পকে 350ºC উষ্ণতায় উত্তপ্ত অ্যালুমিনিয়াম অক্সাইডের উপর দিয়ে চালনা ইথিলিন উৎপন্ন হয়।

$$\underset{\text{ইথাইল অ্যালকোহল}}{CH_3CH_2OH} \xrightarrow[350^\circ C]{Al_2O_3} \underset{\text{ইথিলিন}}{H_2C=CH_2} + H_2O$$

(1) প্রোপিলিন বা প্রোপিন প্রস্তুতি ঃ অনুরূপভাবে প্রোপাইল অ্যালকোহল বা প্রোপানলকে 160ºC—170ºC উষ্ণতায় গাঢ় H_2SO_4 বা গাঢ় H_3PO_4 দ্বারা নিরুদিত করে প্রোপিলিন উৎপন্ন করা হয়।

$$\underset{\text{প্রোপানল}}{CH_3CH_2CH_2OH} + H_2SO_4 \xrightarrow{160^\circ C} \underset{\text{প্রোপিন}}{CH_3CH=CH_2} + H_2O$$

(2) অ্যালকিল হ্যালাইডের ডিহাইড্রো হ্যালোজিনেশন ঃ অ্যালকোহলীয় KOH বা NaOH দ্রবণের সঙ্গে ইথাইল ব্রোমাইডের বিক্রিয়ায় ইথিলিন এবং প্রোপাইল ব্রোমাইডের বিক্রিয়ায় প্রোপিলিন উৎপন্ন হয়।



(3) ভিসিনাল ডাই-হ্যালাইডের ডিহ্যালোজিনেশন দ্বারা ঃ জিঙ্ক চূর্ণের সঙ্গে ভিসিনাল ডাই-হ্যালাইডের অ্যালকোহলীয় দ্রবণ উত্তপ্ত করলে অ্যালকিন উৎপন্ন হয়। [পাশাপাশি দুটি C পরমাণুর যুক্ত 1টি করে হ্যালোজেন পরমাণু যুক্ত যৌগকে **ভিসিন্যাল ডাই হ্যালাইড বলে।**]

$$\underset{\text{1, 2-ডাইব্রোমো ইথেন}}{H_2CBr{-}CH_2Br} \xrightarrow[\text{অ্যালকোহল}]{Zn} \underset{\text{ইথিন}}{H_2C{=}CH_2} + ZnBr_2$$

$$\underset{\text{1, 2-ডাইব্রোমো প্রোপেন}}{CH_3{-}\underset{Br}{\underset{|}{C}}H{-}\underset{Br}{\underset{|}{C}}H_2} + Zn \xrightarrow[\Delta]{\text{ইথানল}} \underset{\text{প্রোপিন}}{CH_3{-}CH{=}CH_2} + ZnBr_2$$

(4) অ্যালকাইনের নিয়ন্ত্রিত হাইড্রোজিনেশন দ্বারা ঃ র‍্যানি নিকেল অনুঘটকের উপস্থিতিতে উপযুক্ত অ্যাসিটিলিনের সঙ্গে হাইড্রোজেনের বিক্রিয়ায় ইথিন উৎপন্ন হয় এবং মিথাইল অ্যাসিটিলিনের বিক্রিয়ায় প্রোপিন উৎপন্ন হয়। অথবা **লিন্ডলার অনুঘটক** (Lindlar's catalyst) (Pd-$CaCO_3$)-কে অনুঘটকরূপে ব্যবহার করেও অ্যাসিটিলিন থেকে ইথিলিন এবং মিথাইল অ্যাসিটিলিন থেকে প্রোপিন পাওয়া যায়।

$$\underset{\text{অ্যাসিটিলিন}}{H{-}C{\equiv}C{-}H} + H_2 \xrightarrow[\text{কুইনোলিন}]{Pd\text{-}CaCO_3} \underset{\text{ইথিলিন}}{H_2C{=}CH_2}$$

$$\underset{\text{প্রোপাইন}}{CH_3{-}C{\equiv}C{-}H} + H_2 \xrightarrow[\text{কুইনোলিন}]{Pd\text{-}CaCO_3} \underset{\text{প্রোপিন}}{CH_3{-}CH{=}CH_2}$$

[লিন্ডলার অনুঘটক হল কুইনোলিন দিয়ে আংশিকভাবে বিষাক্ত করা Pd।]

(5) কোল্‌বের বিক্রিয়া (Kolbe's Reaction) ঃ Cu-ক্যাথোড এবং Pt অ্যানোড ব্যবহার করে **সম্পৃক্ত ডাইবেসিক জৈব অ্যাসিডের সোডিয়াম বা পটাশিয়াম লবণের জলীয় দ্রবণের** তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করলে অ্যানোড অ্যালকিন উৎপন্ন হয়।

$$\underset{\text{পটাশিয়াম সাকসিনেট}}{\begin{array}{l}CH_2COOK\\ |\\ CH_2COOK\end{array}} \xrightarrow{2H_2O} \underset{\text{ইথিলিন}}{\begin{array}{c}CH_2\\ \|\\ CH_2\end{array}} + 2KOH + 2CO_2 + H_2$$

(6) পাইরোলিসিস বা ক্র্যাকিং ঃ বায়ুর অনুপস্থিতিতে 500ºC—750ºC উষ্ণতায় উত্তপ্ত নলের ভিতর দিয়ে অ্যালকেন চালনা করলে তাপীয় বিয়োজনের ফলে নিম্নতর অ্যালকেন এবং অ্যালকিনে পরিণত হয়। যেমন, 500ºC—750ºC উষ্ণতায় ইথেন থেকে হাইড্রোজেন এবং ইথিলিন উৎপন্ন হয়। $C_2H_6 \rightarrow CH_2 = CH_2 + H_2 \uparrow$

(7) কোয়াটারনারি অ্যামোনিয়াম হাইড্রক্সাইডকে উত্তপ্ত করে ঃ টেট্রাইথাইল অ্যামোনিয়াম হাইড্রক্সাইডকে উত্তপ্ত করলে ইথেন পাওয়া যায়।

$$[(C_2H_5)_4N]OH \xrightarrow{\Delta} C_2H_4 + \underset{\text{ট্রাই-ইথাইল অ্যামিন}}{(C_2H_5)_3N} + H_2O$$

[B] অ্যালকিনের সাধারণ ধর্ম [General Properties of Alkenes]

(a) ভৌত ধর্ম ঃ কম আণবিক ওজনের অ্যালকিনগুলি যেমন ইথিন, প্রোপিন সাধারণ উষ্ণতায় গ্যাসীয়। উচ্চ আণবিক ওজনের অ্যালকিনগুলি তরল বা কঠিন জৈব দ্রাবকে সব অ্যালকিন দ্রাব্য।

(b) রাসায়নিক ধর্ম ঃ ইথিলিন এবং প্রোপিলিন হল অসম্পৃক্ত হাইড্রোকার্বন। ইথিলিন বা প্রোপিলিন অণুর মধ্যে C═C দ্বিবন্ধনের একটি বন্ধন (σ বন্ড) খুব দৃঢ় কিন্তু অপর বন্ধনটি (π বন্ড) দুর্বল। তাই অ্যালকিনের C═C অংশটি, C—C বা C—H অংশের তুলনা যথেষ্ট ক্রিয়াশীল। সেইজন্য এদের সাধারণ ধর্ম C═C বন্ধনের উপর নির্ভর করে। বিক্রিয়ার সময় সাধারণত নতুন পরমাণু বা গ্রুপ দ্বি-বন্ধনে আবদ্ধ ওই 2টি কার্বন পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত হয়। অ্যালকিন (ইথিন বা প্রোপিন) সাধারণত পাঁচ রকম বিক্রিয়া করে—

(1) দহন বিক্রিয়া (Combustion), **(2) যুত বিক্রিয়া** (Addition reaction), **(3) জারণ বিক্রিয়া** (Oxidation reaction), **(4) পলিমারিজেশন** (Polymerisation), **(5) প্রতিস্থাপন বিক্রিয়া।**

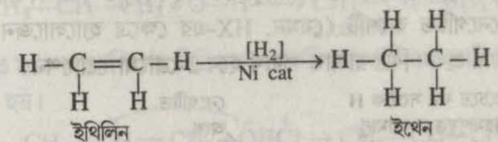
1. দহন বিক্রিয়া (Combustion) **(বায়ু বা O_2-এর সঙ্গে) ঃ** বায়ুর মধ্যে বা O_2-এর মধ্যে জ্বালালে উজ্জ্বল শিখায় জ্বলে CO_2 এবং H_2O উৎপন্ন করে। যেমন ইথিলিন বা প্রোপিনকে বায়ু বা O_2-এর মধ্যে জ্বালালে কার্বন ডাইঅক্সাইড এবং জল উৎপন্ন হয়।

$C_2H_4 + 3O_2 \rightarrow 2CO_2 + 2H_2O$, $2C_3H_6 + 9O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6\,H_2O$

2. যুত-বিক্রিয়া (Addition reaction) **ঃ যে বিক্রিয়ায় কোনো অসম্পৃক্ত যৌগের অণুর সঙ্গে অন্য কোনো পরমাণু বা মূলক সরাসরি যুক্ত হয়—অণুটির কোনো অংশই পৃথক হয় না, ওই বিক্রিয়াকে যুত বিক্রিয়া বলে।** বিক্রিয়ার ফলে যে যৌগ

উৎপন্ন হয় তাকে যুত যৌগ বলে। হ্যালোজেন (Cl, Br, I) হাইড্রোজেন, অ্যাসিড, ওজোন প্রভৃতি পদার্থের সঙ্গে যুত-বিক্রিয়ার দ্বারা অ্যালকিন যুত-যৌগ উৎপন্ন করে। যেমন—

(i) হাইড্রোজেনের সঙ্গে যুত বিক্রিয়া ঃ Ni, Pt বা Pd অনুঘটকের উপস্থিতিতে তাপ ও চাপ প্রয়োগে হাইড্রোজেন ইথিন ও প্রোপিনের সঙ্গে যুক্ত হয়ে যথাক্রমে ইথেন ও প্রোপেন উৎপন্ন হয়, অর্থাৎ সম্পৃক্ত হাইড্রোকার্বনে পরিণত হয়। যেমন, 200°C—300°C উষ্ণতায় **Ni অনুঘটকের উপস্থিতিতে ইথিলিন এবং প্রোপিলিন** H_2-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে যথাক্রমে ইথেন ও প্রোপেনে পরিণত হয়।



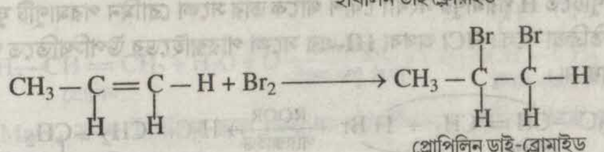
$$CH_3—CH = CH_2 + H_2 \xrightarrow[\Delta]{Ni} CH_3—CH_2—CH_3$$

প্রোপিন   প্রোপেন

(ii) হ্যালোজেনের সঙ্গে যুত বিক্রিয়া ঃ নিষ্ক্রিয় দ্রাবকের (CCl_4) উপস্থিতিতে Cl_2 এবং Br_2-এর যুত বিক্রিয়া দ্বারা অ্যালকিন ডাইহ্যালাইড উৎপন্ন হয়।

$$H_2C = CH_2 + Cl_2 \longrightarrow H—\underset{Cl}{CH}—\underset{Cl}{CH}—H$$

ইথিলিন   ইথিলিন ডাই ক্লোরাইড



এই বিক্রিয়াটি অসম্পৃক্ততার পরীক্ষায় ব্যবহৃত হয়, কারণ অসম্পৃক্ত হাইড্রোকার্বনের সঙ্গে বিক্রিয়ায় **ব্রোমিনের লাল বর্ণ বর্ণহীন হয়ে যায়।**

(iii) হ্যালোজেন অ্যাসিডের সঙ্গে যুত বিক্রিয়া ঃ HCl, HBr এবং HI-এর সঙ্গে অ্যালকিনের যুত বিক্রিয়া দ্বারা যুত যৌগ **অ্যালকিন হ্যালাইড** উৎপন্ন হয়। (a) যদি অ্যালকিনটি **প্রতিসম অর্থাৎ সিমেট্রিক্যাল হয়,** তাহলে হ্যালোজেন অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়ায় **একটিমাত্র যুত যৌগ** উৎপন্ন হয়, যেমন—

(i) সাধারণ উষ্ণতায় গাঢ় হাইড্রো আয়োডিক অ্যাসিড ইথিলিনের সঙ্গে যুত বিক্রিয়া দ্বারা যুক্ত হয়ে **ইথাইল আয়োডাইড** উৎপন্ন করে। $CH_2 = CH_2 + HI \longrightarrow CH_3 — CH_2I$ (ইথাইল আয়োডাইড)

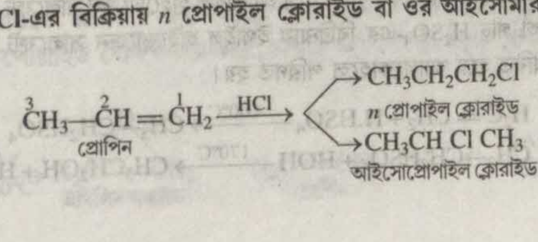
(ii) HBr-এর সঙ্গে ইথিলিনের বিক্রিয়া ঘটে **ইথাইল ব্রোমাইড** উৎপন্ন হয়—তবে বিক্রিয়াটি ধীরগতিতে ঘটে।

$$CH_2 = CH_2 + HBr \longrightarrow CH_3 — CH_2Br$$

ইথাইল ব্রোমাইড

(iii) HCl-এর সঙ্গে ইথিলিনের **40°C** উষ্ণতায় অনার্দ্র **$AlCl_3$-এর উপস্থিতিতে** HCl-এর সঙ্গে ইথিলিনের বিক্রিয়া ঘটে **ইথাইল ক্লোরাইড** উৎপন্ন হয়। $CH_2 = CH_2 + HCl \longrightarrow CH_3—CH_2Cl$

(b) **অসম অ্যালকিনের সাথে, যেমন প্রোপিলিনের সাথে হ্যালোজেন অ্যাসিডের যুত বিক্রিয়া দুভাবে ঘটতে পারে।** যেমন, প্রোপিলিনের সঙ্গে **HCl-এর বিক্রিয়ায়** *n* **প্রোপাইল ক্লোরাইড বা ওর আইসোমার, আইসো প্রোপাইল ক্লোরাইড উৎপন্ন হতে পারে।**



এখন বিক্রিয়াজাত যৌগের মধ্যে কোন্‌টি বেশি উৎপন্ন হবে তা নির্ভর করে প্রোপিলিনের মধ্যে $C=C$ বন্ধনের C পরমাণু দুটির কোন্‌টিতে H পরমাণু এবং কোন্‌টিতে Cl পরমাণু যুক্ত হবে তার উপর। এই জাতীয় বিক্রিয়ায় অর্থাৎ অসম অ্যালকিনের সঙ্গে অসম যোজ্য পদার্থ (যেমন HX) যুক্ত হওয়ার ফলে কোন্ যুত যৌগটি প্রধান বিক্রিয়াজাত পদার্থরূপে উৎপন্ন হবে তা জানার জন্য একটি সূত্র আছে। এই সূত্রটি **মারকনিকফের সূত্র** (Markownikoff's rule) নামে পরিচিত।

● **মারকনিকফের সূত্র ঃ** অসম অ্যালকিনের সঙ্গে অসমযোজ্য পদার্থের (addendum) যুক্ত হওয়ার সময়, অ্যালকিনের মধ্যে দ্বিবন্ধ যোজক দ্বারা যুক্ত দুটি কার্বন পরমাণুর মধ্যে, যে C পরমাণুটিতে অপেক্ষাকৃত কম সংখ্যক H পরমাণু যুক্ত থাকে, সেই C পরমাণুটির সঙ্গে যোজ্য-পদার্থের নেগেটিভ অংশটি (যেমন, HX-এর ক্ষেত্রে হ্যালোজেন পরমাণুটি) যুক্ত হবে। যেমন, প্রোপিলিনের সঙ্গে HBr-এর বিক্রিয়ায় প্রধান বিক্রিয়াজাত পদার্থ হবে **2-ব্রোমো প্রোপেন।**

সবচেয়ে কম সংখ্যক H পরমাণুযুক্ত C পরমাণু; নেগেটিভ অংশ

$$\underset{\text{প্রোপিন}}{H_3C-CH=CH_2} + HBr \longrightarrow \underset{\text{2-ব্রোমো প্রোপেন}}{H_3C-\underset{\displaystyle Br}{\underset{|}{C}H}-CH_3}$$

● **মারকনিকফ্ সূত্রের ব্যতিক্রম—পারক্সাইড প্রতিক্রিয়া** (Peroxide effect) ঃ অসম-অ্যালকিনের সঙ্গে **হাইড্রোব্রোমিক** অ্যাসিডের (HBr) বিক্রিয়াটি যদি **অক্সিজেন ও অতিবেগুনি রশ্মি** কিংবা **জৈব পারক্সাইডের উপস্থিতিতে ঘটানো হয়,** তাহলে মারকনিকফ্ সূত্রের বিপরীত ঘটনা ঘটে, অর্থাৎ **যে C পরমাণুটিতে H পরমাণুর সংখ্যা কম থাকে, সেই C পরমাণুর সঙ্গে H পরমাণুটি এবং যে C পরমাণুটিতে H পরমাণুর সংখ্যা বেশি থাকে তার সঙ্গে ব্রোমিন পরমাণুটি যুক্ত হয়।** এইরকম অস্বাভাবিক সংযোজনকে **পারক্সাইড প্রতিক্রিয়া** বলে। **HCl অথবা HI-এর সঙ্গে পারক্সাইডের উপস্থিতিতে অসম অ্যালকিনের বিক্রিয়ায় এইরকম ব্যতিক্রম দেখা যায় না।**

$$\underset{\text{প্রোপিন}}{H_3C-CH=CH_2} + H\,Br \xrightarrow[\text{পারক্সাইড}]{ROOR} \underset{\text{1-ব্রোমো প্রোপেন}}{H_3C-CH_2-\underset{\displaystyle Br}{\underset{|}{C}H_2}}$$

$$\underset{\text{প্রোপিন}}{CH_3-CH=CH_2} + H\,Br \rightarrow \begin{cases} \xrightarrow{\text{পারক্সাইডের অনুপস্থিতিতে}} \underset{\text{2-ব্রোমো প্রোপেন}}{CH_3-CHBrCH_3} \\ \xrightarrow[\text{পারক্সাইডের উপস্থিতিতে}]{} \underset{\text{1-ব্রোমো প্রোপেন}}{CH_3CH_2CH_2Br} \end{cases}$$

1-প্রোপানলকে 2-প্রোপানলে রূপান্তরিতকরণ ঃ

$$\underset{\text{1-প্রোপানল}}{CH_3CH_2CH_2OH} \xrightarrow[170^\circ C]{\text{গাঢ় } H_2SO_4} \underset{\text{প্রোপিন}}{CH_3CH=CH_2} \xrightarrow{HBr} \underset{\text{2-ব্রোমো প্রোপেন}}{CH_3CHBrCH_3} \xrightarrow[aq]{KOH} \underset{\text{2-প্রোপানল}}{CH_3\,CH\,(OH)\,CH_3}$$

2-প্রোপানলকে 1-প্রোপানলে রূপান্তরিতকরণ ঃ

$$CH_3CH\,(OH)\,CH_3 \xrightarrow[170^\circ C]{\text{গাঢ় } H_2SO_4} \underset{\text{প্রোপিন}}{CH_3CH=CH_2} \xrightarrow[\text{পারক্সাইড}]{HBr} CH_3CH_2CH_2Br \xrightarrow[aq]{KOH} \underset{\text{1-প্রোপানল}}{CH_3CH_2CH_2OH}$$

অ্যালকিনের সঙ্গে HOCl, H_2SO_4, HCN প্রভৃতি যৌগের যুতবিক্রিয়ার সময় মারকনিকফের সূত্রটি প্রযোজ্য হয়।

(iv) গাঢ় H_2SO_4-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় অ্যালকিন যুত-যৌগ অ্যালকিল হাইড্রোজেন সালফেট গঠন করে এস্টারে পরিণত হয়। 100°C উষ্ণতায় ইথিলিনের সঙ্গে গাঢ় H_2SO_4-এর বিক্রিয়ায় ইথাইল হাইড্রোজেন সালফেট উৎপন্ন হয়। উৎপন্ন অ্যালকিন হাইড্রোজেন সালফেট আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়ে অ্যালকোহলে পরিণত হয়।

$$H_2C=CH_2 + H.HSO_4 \xrightarrow{100^\circ C} CH_3-CH_2HSO_4$$

$$CH_3-CH_2HSO_4 + HOH \xrightarrow{170^\circ C} CH_3CH_2OH + H_2SO_4$$

অসম অ্যালকিনের যেমন প্রোপিনের ক্ষেত্রে মারকনিকফের নীতি অনুসৃত হয়।

$$\underset{\text{প্রোপিন}}{CH_3-CH=CH_2} + H^+\overset{-}{O}SO_3H \rightarrow \underset{\text{আইসো প্রোপাইল হাইড্রোজেন সালফেট}}{CH_3-\overset{OSO_3H}{\overset{|}{C}H}-CH_3}$$

$$CH_3-\overset{\boxed{OSO_3H \quad H}}{CH}-CH_3 + O-H \longrightarrow \underset{\text{2-প্রোপানল}}{CH_3-\overset{OH}{\overset{|}{C}H}-CH_3} + H_2SO_4$$

(v) HOCl বা HOBr-এর সঙ্গে প্রোপিনের বিক্রিয়ায় মারকনিকফের নিয়মানুযায়ী যথাক্রমে 1-ক্লোরো-2-প্রোপানল এবং 1-ব্রোমো-2-প্রোপানল উৎপন্ন হয়।

$$\underset{\text{প্রোপিন}}{CH_3-CH=CH_2} + \overset{-}{O}H\overset{+}{Cl} \rightarrow \underset{\text{1-ক্লোরো-2-প্রোপানল}}{CH_3-\underset{OH}{\underset{|}{C}H}-\underset{Cl}{\underset{|}{C}H_3}}$$

3. জারণ বিক্রিয়া : (i) ক্ষারীয় $KMnO_4$-এর ঠান্ডা লঘু জলীয় দ্রবণের সঙ্গে অ্যালকিনের বিক্রিয়ায় অ্যালকিন জারিত হয়ে ডাই-হাইড্রিক অ্যালকোহল উৎপন্ন করে।

$$\underset{\text{ইথিলিন}}{H_2C=CH_2} + H_2O + O \xrightarrow[\text{লঘু দ্রবণ}]{KMnO_4} \underset{\text{ইথিলিন গ্লাইকল}}{H_2\overset{OH}{\overset{|}{C}}-\overset{OH}{\overset{|}{C}H_2}}$$

$$\underset{\text{প্রোপিন}}{CH_3-CH=CH_2} + H_2O + O \xrightarrow[\text{ঠান্ডা লঘু দ্রবণ}]{KMnO_4} \underset{\text{ইথিলিন গ্লাইকল}}{CH_3-\overset{OH}{\overset{|}{C}H}-\overset{OH}{\overset{|}{C}H_2}}$$

(ii) উষ্ণ এবং গাঢ় $KMnO_4$ দ্রবণ ইথিলিন ছাড়া অন্যান্য অ্যালকিনকে জারিত করে অ্যালকিনটির গঠন অনুযায়ী কার্বক্সিলিক অ্যাসিড এবং কিটোনে পরিণত করে।

অ্যালকিনে প্রান্তীয় $=CH_2$ থাকলে, সেটি সর্বদা জারিত হয়ে CO_2-তে পরিণত হয়। দ্বিবন্ধন যুক্ত C পরমাণুর সঙ্গে 1টি অ্যালকিল গ্রুপ থাকলে, এই C পরমাণুটি $-COOH$ গ্রুপে পরিণত হয়।

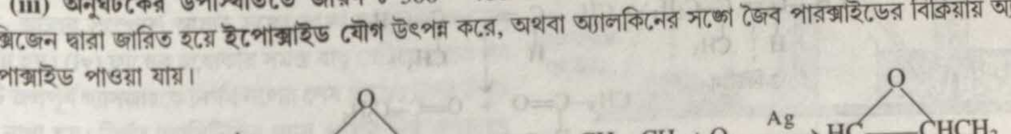
$$H_2C=CH_2 \xrightarrow[KMnO_4 \text{ উষ্ণ দ্রবণ}]{[O]} 2CO_2 + 2H_2O$$

$$\underset{\text{প্রোপিন}}{CH_3-CH=CH_2} \xrightarrow[KMnO_4 \text{ উষ্ণ দ্রবণ}]{[O]} \underset{\text{অ্যাসিটিক অ্যাসিড}}{CH_3-\underset{OH}{\underset{|}{C}}=O} + CO_2 + H_2O$$

$$\underset{\text{2-মিথাইল-2-বিউটিন}}{CH_3-\overset{CH_3}{\overset{|}{C}}=\overset{H}{\overset{|}{C}}-CH_3} \xrightarrow[KMnO_4 \text{ দ্রবণ}]{[O]} \underset{\text{অ্যাসিটোন}}{CH_3-\underset{CH_3}{\underset{|}{C}}=O} + \underset{\text{অ্যাসিটিক অ্যাসিড}}{CH_3-\underset{OH}{\underset{|}{C}}=O}$$

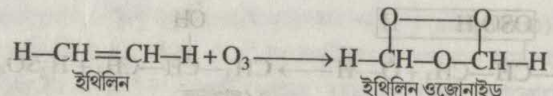
$$H_3C-\underset{CH_3}{\underset{|}{C}}=\underset{CH_3}{\underset{|}{C}}-CH_3 \xrightarrow[KMnO_4 \text{ দ্রবণ}]{[O]} \underset{\text{অ্যাসিটোন}}{CH_3-\underset{CH_3}{\underset{|}{C}}=O} + \underset{\text{অ্যাসিটোন}}{O=\underset{CH_3}{\underset{|}{C}}-CH_3}$$

(iii) অনুঘটকের উপস্থিতিতে জারণ : 300°—400°C তাপমাত্রায় **সিলভার অনুঘটকের** উপস্থিতিতে অ্যালকিন, অক্সিজেন দ্বারা জারিত হয়ে **ইপোক্সাইড যৌগ** উৎপন্ন করে, অথবা অ্যালকিনের সঙ্গে জৈব পারক্সাইডের বিক্রিয়ায় অ্যালকিন ইপোক্সাইড পাওয়া যায়।

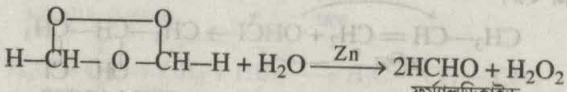


(iv) ওজোনলিসিস বা ওজোনের সঙ্গো বিক্রিয়া (Ozonolysis) ঃ ওজোনের সঙ্গো বিক্রিয়া করে না, এমন দ্রাবকে (গ্লেসিয়াল অ্যাসেটিক অ্যাসিড, ক্লোরোফর্ম ইত্যাদি) অ্যালকিনকে যেমন ইথিলিন বা প্রোপিলিনকে দ্রবীভূত করে, ওই দ্রবণের মধ্যে O_3 গ্যাস চালনা করলে (অক্সিজেন মিশ্রিত ওজোন) ওজোনের তিনটি O পরমাণু অ্যালকিনের সঙ্গো যুক্ত হয়ে **ওজোনাইড যৌগ** উৎপন্ন করে।

(*a*)



উৎপন্ন ইথিলিন ওজোনাইডের সঙ্গো জল ও জিঙ্ক ডাস্ট বা লঘু HCl মিশিয়ে সামান্য উত্তপ্ত করলে ওজোনাইড যৌগ আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়ে 2 অণু ফর্ম্যালডিহাইড উৎপন্ন হয়।

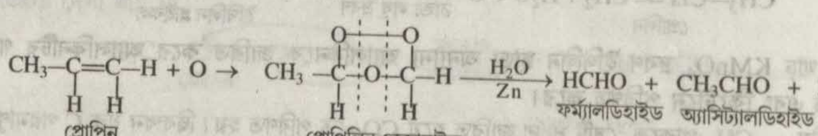


$$H_2O_2 + Zn \rightarrow ZnO + H_2O$$

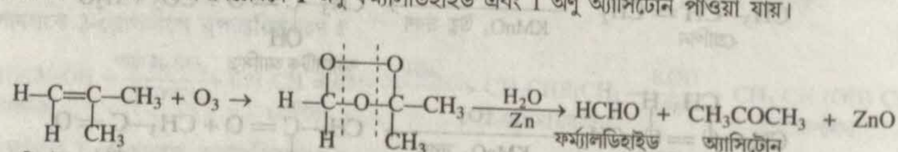
এইভাবে অ্যালকিনের সঙ্গো ওজোনের বিক্রিয়ায় ওজোনাইড যৌগ গঠন এবং ওজোনাইড যৌগের আর্দ্র বিশ্লেষণে উৎপন্ন অ্যালডিহাইড বা কিটোনের শনাক্তকরণের পদ্ধতিকে ওজোনোলিসিস বলে।

[বিক্রিয়ায় H_2O_2 উপস্থিত থাকলে, H_2O_2 উৎপন্ন অ্যালডিহাইডকে জারিত করে অ্যাসিডে পরিণত করতে পারে। বিক্রিয়ায় উপস্থিত Zn ডাস্ট H_2O_2-কে বিজারিত করে দেয়, ফলে উৎপন্ন অ্যালিডিহাইড আর অ্যাসিডে পরিণত হয় না।]

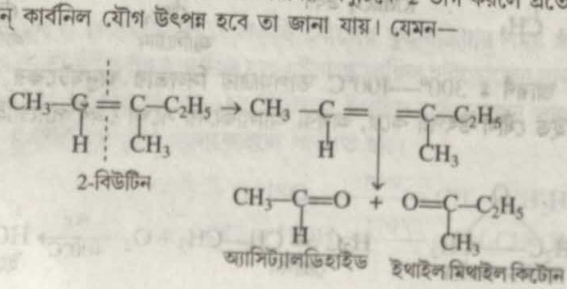
উদাহরণ ঃ (*a*) **R—CH=CH—R₁** এই অ্যালকিনে R যদি CH_3 গ্রুপ এবং R_1 যদি H-পরমাণু হয় অ্যালকিনটি **প্রোপিন** হবে, এর ওজোন বিশ্লেষণে এক অণু অ্যাসিট্যালডিহাইড ও এক অণু ফর্ম্যালডিহাইড উৎপন্ন হয়।



(*b*) **R—CH=C(R₁)—R₁**— এই অ্যালকিনে, **R=H** পরমাণু এবং **R_1 =** যে কোনো অ্যালকিল গ্রুপ ধরি—**CH_3** হলে, অ্যালকিনটি **2-মিথাইল প্রোপিন** হয়, এর ওজোনবিশ্লেষণে **1** অণু ফর্ম্যালডিহাইড এবং 1 অণু অ্যাসিটোন পাওয়া যায়।



সুতরাং দেখা গেল, **(i)** কোনো অ্যালকিনের গঠন জানা থাকলে যৌগটির ওজোনোলিসিসে কোন্ কার্বনিল যৌগ উৎপন্ন হবে তা সহজে জানা যায়। অ্যালকিনটির গঠন লিখে ওর দ্বি-বন্ধন বরাবর অণুটিকে 2 ভাগ করলে প্রত্যেকটি দ্বি-বন্ধনের সঙ্গো একটি করে O পরমাণু যোগ করলেই কোন্ কার্বনিল যৌগ উৎপন্ন হবে তা জানা যায়। যেমন—



[E] পলিমারিজেশন (Polymerisation) :

ইথিলিনকে উচ্চচাপে (1500—2000 atm) তরল করে যদি পারক্সাইড, অক্সিজেন বা ক্রোমিয়াম অক্সাইড অনুঘটকের উপস্থিতিতে 150°C—200°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করলে বহু সংখ্যক ইথিলিন অণু পরস্পরের সঙ্গে যুক্ত হয়ে $[C_2H_4)_n]$ সংকেতযুক্ত একটি কঠিন পদার্থ তৈরি হয়। এই পদার্থটি পলি-ইথিলিন বা পলিথিন নামে পরিচিত।

$$n(CH_2{=}CH_2) \xrightarrow[\text{150°C, 1500 বায়ুমণ্ডল চাপ}]{Cr_2O_3} [—CH_2—CH_2—]n \quad \text{(পলিথিন)}$$

পলিথিন এক ধরনের প্লাস্টিক; 110°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করলে পলিথিন নরম হয় এবং এর থেকে পাতলা চাদর, নল, রড, বোতল ইত্যাদি নানারকমের জিনিস তৈরি করা হয়। তড়িৎ অপরিবাহী বলে ইনসুলেটর রূপে ব্যবহৃত হয়। পলিথিন একটি জৈব-অবিশ্লিষ্ট (Non-biodegradable) পলিমার, অর্থাৎ মাটিতে মিশে যায় না।

● **পলিমারিজেশনের সংজ্ঞা :** *যে বিক্রিয়াতে একটি যৌগের একাধিক সরল অণু পরস্পরের সঙ্গে যুক্ত হয়ে উচ্চ আণবিক গুরুত্ববিশিষ্ট এবং জটিল গঠনবিশিষ্ট ভিন্ন যৌগের অণু উৎপন্ন করে, সেই বিক্রিয়াকে পরিমারিজেশন বা বহুলীভবন (Polymerisation) বলে।*

মূল যৌগ এবং উৎপন্ন পলিমারটির স্থূল সংকেত একই হয়। পলিমারের আণবিক গুরুত্ব মূল যৌগের আণবিক গুরুত্বের সরল গুণিতক হয়। **পলিথিন হল ইথিলিনের পলিমার। পলিপ্রোপিলিন হল প্রোপিলিনের পলিমার।**

● **ইথিলিনের ব্যবহার** (Use of Ethylene) :

(1) কাঁচা ফল পাকাবার জন্য, বিষাক্ত মাস্টার্ড গ্যাস তৈরিতে, রোগীকে অজ্ঞান করার কাজে ইথিলিন ব্যবহৃত হয়।

(2) ইথাইল অ্যালকোহল, গ্লাইকল প্রস্তুত করার জন্যও ইথিলিন ব্যবহার করা হয়।

(3) পলিথিন তৈরি করার জন্যই ইথিলিনের ব্যবহার সবচেয়ে বেশি।

● **প্রোপিলিনের ব্যবহার :**

(1) পলিপ্রোপিলিন হল প্রোপিলিনের পলিমার। এই পলিমার দিয়ে বাড়ির নিত্য ব্যবহার্য বস্তু যেমন বাটি, প্যান, গ্লাস এবং শল্য চিকিৎসার যন্ত্রপাতি প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত হয়।

(2) রাসায়নিক দ্রব্য যেমন ইথিলিন-প্রোপিলিন রবার, অ্যাসিটোন, প্রোপাইল অ্যালকোহল ইত্যাদি প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত হয়।

3.20. অ্যাসিটিলিন [Acetylene (H—C≡C—H)]

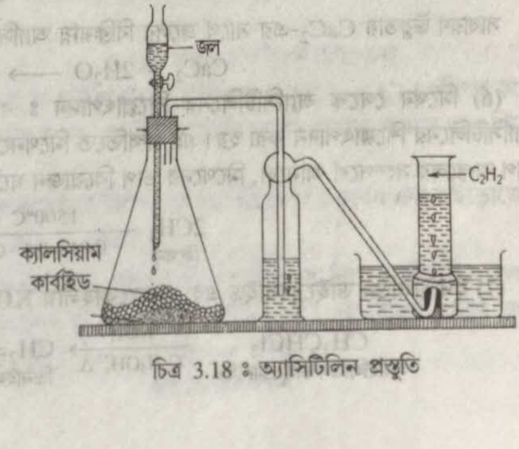
[A] প্রস্তুতি :

1. অ্যাসিটিলিনের পরীক্ষাগার প্রস্তুতি (Laboratory Method of preparation of Acetylene) :

নীতি : সাধারণ উষ্ণতায় ক্যালশিয়াম কার্বাইডের সঙ্গে জল মেশালে অ্যাসিটিলিন গ্যাস উৎপন্ন হয়। অ্যাসিটিলিনের পরীক্ষাগার প্রস্তুতিতে এবং শিল্প উৎপাদনে ওই বিক্রিয়ার সাহায্য নেওয়া হয়।

$$\underset{\diagdown\ \diagup}{\overset{}{C{=}C}}\!\!\!\!\!\!\!\!\quad _{Ca} + 2H_2O = Ca(OH)_2 + H—C{\equiv}C—H$$

পদ্ধতি : (i) বিন্দুপাতি ফানেল ও নির্গম নলযুক্ত একটি কনিক্যাল ফ্লাস্কের মধ্যে কিছুটা বালি রেখে তার উপরে ছোটো ছোটো ক্যালশিয়াম কার্বাইডের টুকরো রাখা হয়। **(ii)** নির্গম নলের শেষ প্রান্তটি একটি জলপূর্ণ পাত্রের মধ্যে ডুবানো থাকে। **(iii)** বিন্দুপাতি ফানেলে জল থাকে, এখন বিন্দুপাতি ফানেল থেকে ফোঁটা ফোঁটা করে জল ক্যালশিয়াম কার্বাইডের উপর ফেলা হয়। CaC_2 জলের সংস্পর্শে আসার সঙ্গে সঙ্গে অ্যাসিটিলিন গ্যাস উৎপন্ন হয়। **(iv)** ফ্লাস্কের মধ্যেকার সমস্ত বায়ু বেরিয়ে গেলে পর একটি জলপূর্ণ গ্যাসজারকে নির্গম নলের শেষ প্রান্তের উপর উপুড় করে রাখা হয়। নির্গত অ্যাসিটিলিন গ্যাস জলের নিম্ন অপসারণ দ্বারা গ্যাসজারে জমা হয়।



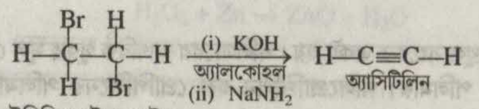
চিত্র 3.18 : অ্যাসিটিলিন প্রস্তুতি

● **বিশুদ্ধিকরণ ঃ** (i) উৎপন্ন অ্যাসিটিলিন বিশুদ্ধ নয়, এর সঙ্গে সামান্য পরিমাণ **ফসফিন** (PH_3), **আর্সাইন** (AsH_3), **অ্যামোনিয়া** (NH_3), **সালফিউরেটেড হাইড্রোজেন** (H_2S) প্রভৃতি অশুদ্ধি মিশ্রিত থাকে। এই গ্যাসগুলি মেশানো থাকে বলে উৎপন্ন অ্যাসিটিলিন দুর্গন্ধযুক্ত হয়। বিশুদ্ধ অ্যাসিটিলিনের গন্ধ বেশ মিষ্টি। বিশুদ্ধ অ্যাসিটিলিন পেতে হলে উৎপন্ন গ্যাসকে **(a)** প্রথমে **আম্লিক কপার সালফেট** দ্রবণ ও পরে **(b) ব্লিচিং পাউডারের** মধ্য দিয়ে চালনা করা হয়।

(ii) অথবা, পরীক্ষাগারে প্রস্তুত C_2H_2 গ্যাসকে অ্যামোনিয়া যুক্ত কিউপ্রাস ক্লোরাইড দ্রবণে লাল বর্ণের **কপার অ্যাসিটিলাইড** অধঃক্ষিপ্ত হয়। অন্যান্য অশুদ্ধিগুলি কোনো বিক্রিয়া করে না। এই অধঃক্ষেপকে ফিলটার করে সংগ্রহ ও ধৌত করার পর HCl-এর সাথে মিশিয়ে উত্তপ্ত করলে বিশুদ্ধ অ্যাসিটিলিন বেরিয়ে আসে। নির্গত C_2H_2-কে P_2O_5 দ্বারা শুষ্ক করে পারদের ওপর সংগ্রহ করা হয়।

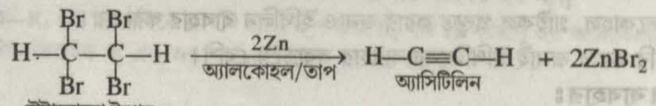
$$\underset{\text{অ্যাসিটিলিন}}{C_2H_2} + Cu_2Cl_2 \xrightarrow{NH_3} C_2Cu_2\downarrow + 2HCl, \quad C_2Cu_2 + 2HCl \longrightarrow C_2H_2 + Cu_2Cl_2$$

(2) ইথিলিন ডাই-ব্রোমাইড থেকে ঃ ইথিলিন ডাই-ব্রোমাইড অর্থাৎ 1,2-ডাইব্রোমো ইথেনকে গাঢ় **অ্যালকোহলীয় কস্টিক পটাশ** দ্রবণের সঙ্গে বিক্রিয়ায় উৎপন্ন পদার্থের সঙ্গে $NaNH_2$-এর বিক্রিয়ায় অ্যাসিটিলিন পাওয়া যায়।



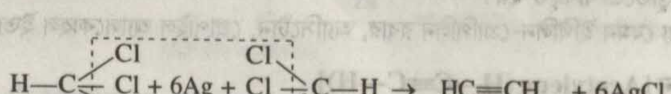
ইথিলিন ডাই-ব্রোমাইড

(3) টেট্রাব্রোমো ইথেনের সঙ্গে অ্যালকোহলে জিঙ্ক চূর্ণের বিক্রিয়ায় অ্যাসিটিলিন উৎপন্ন হয়।



টেট্রাব্রোমো ইথেন

(4) ক্লোরোফর্ম বা অ্যালকোহল থেকে—ক্লোরোফর্ম বা আয়োফর্মকে সিলভার চূর্ণসহ উত্তপ্ত করলে অ্যাসিটিলিন পাওয়া যায়।



(5) অ্যাসিটিলিনের শিল্প প্রস্তুতি ঃ কয়লার অন্তর্ধূম পাতনে অবশেষ রূপে রেটর্টের মধ্যে কোক পড়ে থাকে। অপরদিকে চুনা পাথরকে 900°C—1000°C-এ উত্তপ্ত করলে অবশেষ রূপে চুন (CaO) পাওয়া যায়।

$$CaCO_3 = CaO + CO_2\uparrow$$

বন্ধ বৈদ্যুতিক চুল্লির মধ্যে 2500°C—3000°C উষ্ণতায় কোক ও চুনাপাথরের মিশ্রণকে উত্তপ্ত করলে ক্যালশিয়াম কার্বাইড (CaC_2) উৎপন্ন হয়।

$$CaO + 2C \xrightarrow[3000^\circ C]{} CaC_2$$

সাধারণ উষ্ণতায় CaC_2-এর সাথে জলের বিক্রিয়ায় অ্যাসিটিলিন উৎপন্ন হয়।

$$CaC_2 + 2H_2O \longrightarrow HC{\equiv}CH + Ca(OH)_2$$

(6) মিথেন থেকে অ্যাসিটিলিনের শিল্পোৎপাদন ঃ বর্তমানে মিথেনের তাপ বিয়োজন (Pyrolysis) প্রক্রিয়া দ্বারা অ্যাসিটিলিনের শিল্পোৎপাদন করা হয়। এই পদ্ধতিতে মিথেনকে (0·01—0·1) সেকেন্ড সময়ের জন্য 1500°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত তাপ অঞ্চলের সংস্পর্শে আনলে, মিথেনের তাপ বিয়োজন ঘটে অ্যাসিটিলিন উৎপন্ন হয়।

$$\underset{\text{মিথেন}}{2CH_4} \xrightarrow[0{\cdot}01-0{\cdot}1\ \text{সে}]{1500^\circ C} \underset{\text{অ্যাসিটিলিন}}{HC{\equiv}CH} + 3H_2$$

(7) ইথাইলিডিন ডাইক্লোরাইড এবং অ্যালকোহলীয় KOH মিশ্রণকে উত্তপ্ত করলে অ্যাসিটিলিন উৎপন্ন হয়।

$$\underset{\text{ইথাইলিডিন ডাই ক্লোরাইড}}{CH_3CHCl_2} \xrightarrow[C_2H_5OH,\ \Delta]{KOH} \underset{\text{ভিনাইল ক্লোরাইড}}{CH_2{=}CHCl} \xrightarrow[C_2H_5OH,\ \Delta]{KOH} \underset{\text{ইথাইন}}{HC{\equiv}CH}$$

[B] অ্যাসিটিলিনের ধর্ম ঃ (Properties of Acetylene) ঃ

(a) ভৌত ধর্ম ঃ অ্যাসিটিলিন বর্ণহীন গ্যাস; বিশুদ্ধ অ্যাসিটিলিনের গন্ধ মিষ্টি। জলে কম দ্রাব্য, কিন্তু অ্যাসিটোনে বেশি দ্রাব্য। অ্যাসিটিলিন নিজে দীপ্ত শিখায় জ্বলে, কিন্তু দহনের সহায়ক নয়। সরু নলের মধ্য দিয়ে বাতাসের মধ্যে যদি অ্যাসিটিলিনকে জ্বালিয়ে দেওয়া হয় তাহলে উজ্জ্বল শিখায় জ্বলতে থাকে এবং প্রচুর তাপের সৃষ্টি হয়।

(b) রাসায়নিক ধর্ম ঃ অ্যালকাইন যৌগের C≡C বন্ধনের **একটি হল দৃঢ় σ বন্ড কিন্তু অপর দুটি বন্ধন হল অপেক্ষাকৃত দুর্বল π বন্ড, তাই সমযোজী কোনো পরমাণু বা মূলকের সঙ্গে বিক্রিয়ার সময় এই π বন্ধন দুটি খুলে যায়** এবং **(i) যুত বিক্রিয়া ঘটে যৌগ উৎপন্ন করে। (ii)** এছাড়া C—H বন্ধনের H পরমাণুকে সরিয়ে অনেক সময় প্রতিস্থাপন বিক্রিয়া ঘটে।

(iii) C≡C ত্রিবন্ধনে ভেঙে অক্সো যৌগ এবং কার্বক্সিলিক অ্যাসিড যৌগ উৎপন্ন হয়। (iv) অনেক সময় অ্যালকাইনের ত্রিবন্ধন দ্বারা যুক্ত C-পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত H-পরমাণুটি অ্যাসিডের মতো ব্যবহার করে। অ্যাসিটিলিন নীচের বিক্রিয়াগুলি করে—

(1) দহন বিক্রিয়া, (2) যুত বিক্রিয়া, (3) জারণ বিক্রিয়া, (4) অ্যাসিড বিক্রিয়া, (5) পলিমারিজেশন।

***(a)* দহন বিক্রিয়া ঃ বাতাস ও অক্সিজেনের সঙ্গে ঃ** অ্যাসিটিলিন ও বায়ুর মিশ্রণ বিস্ফোরক। বায়ুর বদলে যদি অক্সিজেনের সঙ্গে মিশিয়ে অ্যাসিটিলিনকে জ্বালানো হয়, তাহলে বিস্ফোরণ সহ বিক্রিয়া ঘটে CO_2 এবং H_2O উৎপন্ন হয় এবং উষ্ণতা প্রায় 3500ºC পর্যন্ত ওঠে। এই শিখাকে **অক্সি-অ্যাসিটিলিন শিখা** (Oxy-acetylene flame) বলে।

$$2C_2H_2 + 5O_2 = 4CO_2 + 2H_2O + \text{তাপ}$$

***(b)* যুত বিক্রিয়া ঃ**

(1) হাইড্রোজেনের সঙ্গে ঃ (Ni, Pt বা Pd) অনুঘটকের উপস্থিতিতে অ্যাসিটিলিন ও হাইড্রোজেন দুই ধাপে বিক্রিয়া করে। **প্রথমে এক অণু হাইড্রোজেন যুক্ত হয়ে ইথিলিন, পরে আর এক অণু হাইড্রোজেনের সঙ্গে যুক্ত হয়ে ইথেন উৎপন্ন করে।**

বিক্রিয়াটি **নিকেল অনুঘটকের উপস্থিতিতে** 160ºC তাপমাত্রায় কিংবা সাধারণ উষ্ণতায় **প্ল্যাটিনাম** বা **প্যালাডিয়াম অনুঘটকের উপস্থিতিতে সম্পন্ন হয়।**

$$\underset{\text{অ্যাসিটিলিন}}{H{-}C{\equiv}C{-}H} + H_2 \xrightarrow{\text{Ni Cat}} \underset{\text{ইথিলিন}}{H_2C{=}CH_2} \xrightarrow[\text{Ni }\Delta]{H_2} \underset{\text{ইথেন}}{H_3C{-}CH_3}$$

কুইনোলিন এবং $BaSO_4$ দ্বারা আংশিকভাবে বিষাক্ত করা (Poisoned) **Pd অনুঘটক ব্যবহার করে (লিন্ডলার অনুঘটক)** H_2-এর সঙ্গে C_2H_2-এর বিক্রিয়ায় শুধু ইথিলিন পাওয়া যায়।

$$\underset{\text{অ্যাসিটিলিন}}{H{-}C{\equiv}C{-}H} + H_2 \xrightarrow[\text{কুইনোলিন}]{\text{Pd-}BaSO_4} \underset{\text{ইথিলিন}}{H_2C{=}CH_2}$$

(2) হ্যালোজেনের সঙ্গে ঃ (a) ক্লোরিনের সঙ্গে ঃ (i) কাইসেলগুড়ের উপস্থিতিতে অ্যাসিটিলিন সহজেই Cl_2-এর সঙ্গে যুত যৌগ গঠন করে। প্রথমে ক্লোরিনের সঙ্গে বিক্রিয়ায় **1,2-ডাইক্লোরো ইথিন** উৎপন্ন হয়, পরে আরও Cl_2 যুক্ত হয়ে **1,1,2,2-টেট্রা ক্লোরো ইথেন** উৎপন্ন করে। শেষোক্ত পদার্থটি **ওয়েস্ট্রন** (Westron) নামে পরিচিত। শিল্পে দ্রাবক হিসাবে এর ব্যবহার হয়।

$$H{-}C{\equiv}C{-}H + Cl_2 \longrightarrow \underset{\text{1,2-ডাইক্লোরো ইথিন}}{\overset{\;Cl\quad Cl}{HC{=}CH}} \xrightarrow{Cl_2} \underset{\text{1,1,2,2-টেট্রাক্লোরো ইথেন (ওয়েস্ট্রন)}}{H{-}\overset{Cl}{\underset{Cl}{C}}{-}\overset{Cl}{\underset{Cl}{C}}{-}H}$$

ওয়েস্ট্রন বিষাক্ত পদার্থ। তাই স্টিম এবং লাইমের সঙ্গে বিক্রিয়া দ্বারা **ট্রাইক্লোরো ইথিলিনে** (CHCl=CCl$_2$) পরিণত করে একে ব্যবহার করা হয়। শিল্পে ট্রাইক্লোরো ইথিলিন ড্রাইওয়াশ করতে রবার, প্লাস্টিক ইত্যাদির দ্রাবক হিসাবে ব্যবহৃত হয়। শিল্পে এর নাম **ওয়েস্ট্রসল** (Westrosol)।

(ii) সাধারণ উষ্ণতায় **ক্লোরিনের সঙ্গে অ্যাসিটিলিনের** প্রত্যক্ষ সংযোগে বিস্ফোরণ সহ বিক্রিয়া ঘটে কার্বন এবং হাইড্রোজেন ক্লোরাইড উৎপন্ন হয়।

$$C_2H_2 + Cl_2 \longrightarrow 2C + 2HCl$$

(b) ব্রোমিনের সঙ্গে অ্যাসিটিলিনের বিক্রিয়া ধীরে ধীরে সম্পন্ন হয়। লাল বর্ণের ব্রোমিন জলের মধ্য দিয়ে অ্যাসিটিলিন চালনা করলে প্রথমে বর্ণহীন **ড্রাই ব্রোমো ইথিলিন** উৎপন্ন হয়, ফলে ব্রোমিন জলের লাল বর্ণ বর্ণহীন হয়। **এই বিক্রিয়া প্রমাণ করে যে অ্যাসিটিলিন একটি অসম্পৃক্ত যৌগ।**

$$HC{\equiv}CH + Br_2 \longrightarrow \underset{\text{ডাই ব্রোমো ইথিলিন}}{CHBr{=}CHBr}$$

গ্যাসীয় Br_2 বা তরল Br_2-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় **1,1,2,2-টেট্রাব্রোমো ইথেন** উৎপন্ন হয়।

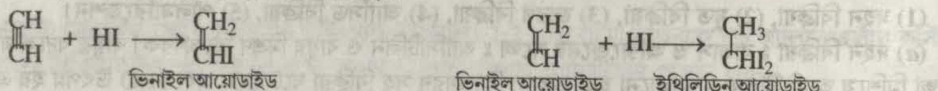
$$H—C\equiv C—H + 2Br_2 \longrightarrow CHBr_2—CHBr_2$$

1,1,2,2-টেট্রাব্রোমো ইথেন

(c) আয়োডিনের সঙ্গে : অ্যালকোহলীয় দ্রবণে অ্যাসিটিলিন ও আয়োডিনের বিক্রিয়া হয়, তবে বিক্রিয়াটি অ্যাসিটিলিন ডাই-আয়োডাইডে শেষ হয়; কেবল এক অণু আয়োডিন বিক্রিয়া করে। $HC\equiv CH + I_2 \rightarrow CHI=CHI$

(3) অ্যাসিডের সঙ্গে : (i) হ্যালোজেন হাইড্রাসিডের (HX) সঙ্গে :

হ্যালোজেন হাইড্রাসিড, **মারকিউরিক লবণের সংস্পর্শে** অ্যাসিটিলিনের সঙ্গে যুতযৌগ গঠন করে। আলোর অনুপস্থিতিতে সাধারণ উষ্ণতায় অ্যাসিটিলিনের সঙ্গে HI-এর যুতবিক্রিয়া ঘটে প্রথমে **ভিনাইল আয়োডাইড** এবং আরও বিক্রিয়া ঘটে **ইথিলিডিন আয়োডাইড অর্থাৎ 1,1-ডাই আয়োডো ইথেন উৎপন্ন হয়।**



HBr-এর সঙ্গে অ্যাসিটিলিনের অনুরূপ বিক্রিয়া করে প্রথমে ভিনাইল ব্রোমাইড, পরে আরও বিক্রিয়া ঘটে ইথিলিডিন ব্রোমাইড উৎপন্ন হয়, তবে বিক্রিয়ায় বেগ মন্থর হয়।

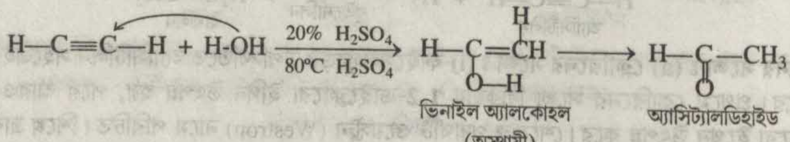
200°C উষ্ণতায় $HgCl_2$-এর উপস্থিতিতে HCl-এর সঙ্গে C_2H_2-এর বিক্রিয়ায় **ভিনাইল ক্লোরাইড** উৎপন্ন হয়। হ্যালোজেন হাইড্রাসিডগুলির সঙ্গে অ্যাসিটিলিনের যুত বিক্রিয়া HI > HBr > HCl—এই ক্রম অনুযায়ী ঘটে থাকে।

(ii) হাইড্রোসায়ানিক অ্যাসিডের (HCN) সঙ্গে : বেরিয়াম সায়ানাইডের উপস্থিতিতে অ্যাসিটিলিন, হাইড্রোসায়ানিক অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়া করে যুত-যৌগ **অ্যাক্রাইলো নাইট্রাল বা ভিনাইল সায়ানাইড** গঠন করে।

$$H—C\equiv C—H + HCN \xrightarrow[\text{চাপ}]{Ba(CN)_2} CH_2=CH—CN$$

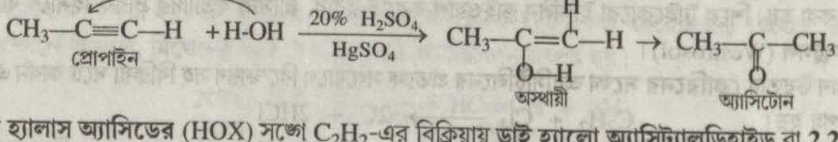
অ্যাক্রাইলো নাইট্রাইল

(iii) জলের সঙ্গে : (i) 70°C—80°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত লঘু সালফিউরিক অ্যাসিড (20%) দ্রবণের মধ্য দিয়ে মারকিউরিক সালফেট বা মারকিউরিক অক্সাইডের উপস্থিতিতে অ্যাসিটিলিন গ্যাস চালনা করলে অ্যাসিটিলিন এক অণু জলের সঙ্গে যুত-যৌগ গঠন করে **অ্যাসিট্যালডিহাইডে পরিণত হয়।**



অ্যালকাইনের সঙ্গে জলের এই জাতীয় বিক্রিয়ায় **একমাত্র অ্যাসিটিলিন শুধু অ্যাসিট্যালডিহাইড উৎপন্ন করে।** অন্যান্য অ্যালকাইনগুলি কিটোন উৎপন্ন করে।

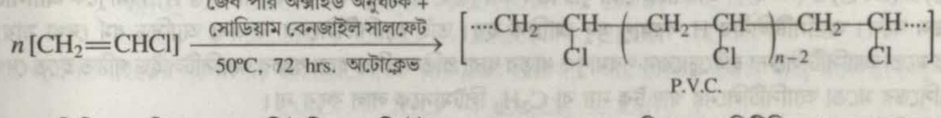
(iv) অ্যাসিটিলিন উচ্চতর কোনো অ্যালকাইনকে 70°C উষ্ণতায় 20% H_2SO_4-এর মধ্য দিয়ে Hg^{2+}-এর উপস্থিতিতে চালনা করলে, অ্যালকাইনটি এক অণু জলের সঙ্গে যুক্ত হয়ে **কিটোন যৌগ** উৎপন্ন করে। যেমন, **প্রোপাইন থেকে অ্যাসিটোন** উৎপন্ন হয়।



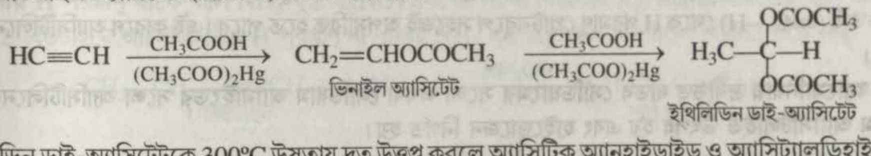
(v) হাইপো হ্যালাস অ্যাসিডের (HOX) সঙ্গে C_2H_2-এর বিক্রিয়ায় **ডাই হ্যালো অ্যাসিট্যালডিহাইড বা 2,2-ডাই হ্যালো ইথান্যাল** উৎপন্ন হয়।

(vi) Hg^{2+} আয়নের উপস্থিতিতে অ্যাসিটিলিনের সঙ্গে **HCl** গ্যাসের **বিক্রিয়ায় ভিনাইল ক্লোরাইড** উৎপন্ন হয়। ভিনাইল ক্লোরাইড থেকে পলি-ভিনাইল ক্লোরাইড (P.V.C.) নামে গুরুত্বপূর্ণ পলিমার প্রস্তুত করা হয়।

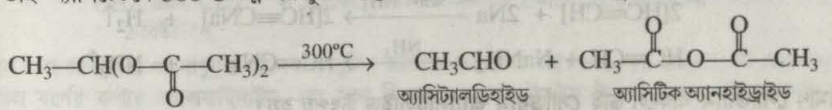
$$HC{\equiv}CH \xrightarrow[Hg^{2+}\ 70^o]{HCl} H_2C{=}CHCl$$
ভিনাইল ক্লোরাইড



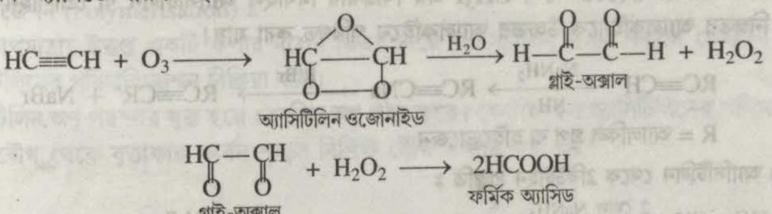
(vii) অ্যাসিটিক অ্যাসিড এবং মারকিউরিক অ্যাসিটেট অথবা $HgSO_4$ দ্রবণের মিশ্রণে অ্যাসিটিলিন গ্যাস চালনা করলে প্রথমে **ভিনাইল অ্যাসিটেট** এবং পরে **ইথিলিডিন ডাই-অ্যাসিটেট** উৎপন্ন হয়। প্লাস্টিক শিল্পে ভিনাইল অ্যাসিটেটের পলিমারিজেশন ঘটিয়ে **পলিভিনাইল অ্যাসিটেট** (প্লাস্টিক) তৈরি করা হয়।



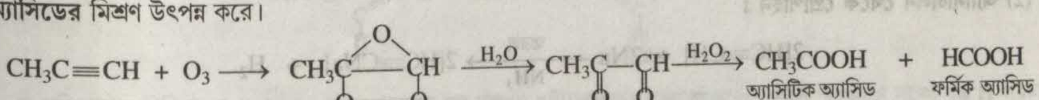
ইথিলিডিন ডাই-অ্যাসিটেটকে 300°C উষ্ণতায় দ্রুত উত্তপ্ত করলে অ্যাসিটিক অ্যানহাইড্রাইড ও অ্যাসিট্যালডিহাইড উৎপন্ন হয়।



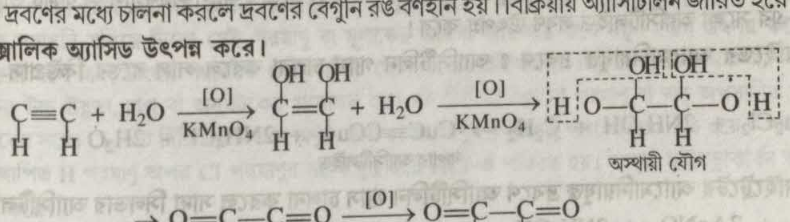
(C) জারণ বিক্রিয়া (Oxidation reaction) : (i) ওজোনসংযোজন (Ozonolysis) : নিষ্ক্রিয় দ্রাবকের মধ্যে অ্যাসিটিলিনকে দ্রবীভূত করে O_3 চালনা করলে ওজোনের সঙ্গে অ্যাসিটিলিনের বিক্রিয়ায় **অ্যাসিটিলিন ওজোনাইড উৎপন্ন হয়। এই ওজোনাইড জল দ্বারা বিয়োজিত হয়ে গ্লাই-অক্সাল (Glyoxal) ও হাইড্রোজেন পারক্সাইডে পরিণত হয়। উৎপন্ন গ্লাই-অক্সাল H_2O_2 দ্বারা জারিত হয়ে ফর্মিক অ্যাসিডে পরিণত হয়।**



প্রোপাইন O_3 দ্বারা জারিত হয়ে প্রথমে ওজোনাইড যৌগ উৎপন্ন করে যা আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়ে **অ্যাসিটিক অ্যাসিড** এবং **ফর্মিক অ্যাসিডের** মিশ্রণ উৎপন্ন করে।



(ii) ক্ষারীয় $KMnO_4$ দ্রবণের সঙ্গে : অন্যান্য অসম্পৃক্ত হাইড্রোকার্বনের মতো অ্যাসিটিলিনকে ক্ষারীয় পটাশিয়াম পারম্যাঙ্গানেট দ্রবণের মধ্যে চালনা করলে দ্রবণের বেগুনি রঙ বর্ণহীন হয়। বিক্রিয়ায় অ্যাসিটিলিন জারিত হয়ে প্রথমে **গ্লাই-অক্সাল এবং পরে অক্সালিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে।**



(D) অ্যাসিটিলিনের আম্লিকতা :

অ্যাসিটিলিনের ধাতব যৌগ উৎপাদন : ত্রিবন্ধন যুক্ত C, দ্বিবন্ধন যুক্ত C এবং এক বন্ধন যুক্ত C-এর তড়িৎ ঋণাত্মকতার ক্রম হল ($\equiv$C) > (=C) > (—C)। অ্যাসিটিলিনের দুটি ত্রিবন্ধন যুক্ত C পরমাণুর সঙ্গে সরাসরি যুক্ত H পরমাণুকে **অ্যাসিটিলিনীয় হাইড্রোজেন** বলে। **অ্যাসিটিলিনীয় H পরমাণু মৃদু আম্লিক হয়।** তাই অ্যাসিটিলিনের সামান্য অ্যাসিড ধর্ম দেখা যায়, কারণ অ্যাসিডের মতো অ্যাসিটিলিনের হাইড্রোজেন পরমাণুও ধাতুর দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে ধাতব অ্যাসিটিলাইড গঠিত হতে দেখা যায়। তবে, অ্যাসিডের মতো অ্যাসিটিলিনের স্বাদ টক নয় বা C_2H_2 লিটমাসকে লাল করে না।

এইরকম বিক্রিয়ায় যেসব অ্যালকাইনের লবণ উৎপন্ন হয় তাদের **অ্যালকাইনাইড বলে।**

অ্যাসিটিলিনে C—H (*sp*—*s*) বন্ধনের *s* অর্বিট্যালের চরিত্র, অ্যালকিনের C—H (sp^2—*s*) বন্ধনের *s* অর্বিট্যালের চরিত্রের চেয়ে বেশি থাকে। তাই অ্যাসিটিলিনে C—H বন্ধনের ইলেকট্রন জোড়কে C পরমাণুর নিউক্লিয়াস আরও তীব্রভাবে নিজের দিকে আকর্ষণ করে। তাই ($\equiv$C—H) থেকে H পরমাণু প্রোটনরূপে সহজেই অপসারিত হতে পারে। এই কারণে অ্যাসিটিলিনের অ্যাসিড ধর্ম দেখা যায়।

(i) তরল অ্যামোনিয়ায় দ্রবীভূত ধাতব সোডিয়ামের সঙ্গে অথবা সোডিয়াম অ্যামাইডের সঙ্গে অ্যাসিটিলিনের বিক্রিয়ায় **মনোসোডিয়াম অ্যাসিটিলাইড** উৎপন্ন হয় এবং হাইড্রোজেন নির্গত হয়।

$$2[HC{\equiv}CH] + 2Na \xrightarrow{\text{তরল } NH_3} 2[HC{\equiv}CNa] + H_2\uparrow$$

$$HC{\equiv}CH + NaNH_2 \xrightarrow{NH_3} HC{\equiv}CNa + NH_3\uparrow$$

বেশি পরিমাণ সোডিয়াম থাকলে **ডাই সোডিয়াম অ্যাসিটিলাইড** উৎপন্ন হয়।

$$2[HC{\equiv}CNa] + 2Na \longrightarrow 2[NaC{\equiv}CNa] + H_2\uparrow$$

সোডিয়াম অ্যাসিটিলাইডের সঙ্গে জলের বিক্রিয়ায় অ্যাসিটিলিন পাওয়া যায়।

$$HC{\equiv}CNa + H_2O \longrightarrow HC{\equiv}CH + NaOH$$

● **মনোসোডিয়াম অ্যাসিটিলাইডের সঙ্গে CH_3I-এর বিক্রিয়ায় মিথাইল অ্যাসিটিলিন বা প্রোপাইন উৎপন্ন হয়। এই প্রক্রিয়ায় কোনো নিম্নতর অ্যালকাইনকে উচ্চতর অ্যালকাইনে পরিণত করা যায়।**

$$RC{\equiv}CH \xrightarrow[NH_3]{NaNH_2} RC{\equiv}CNa \xrightarrow{R'Br} RC{\equiv}CR' + NaBr$$

R = অ্যালকিল গ্রুপ বা হাইড্রোজেন

উদাহরণ : (1) অ্যাসিটিলিন থেকে 2বিউটাইন প্রস্তুতি :

$$HC{\equiv}CH \xrightarrow[\text{তরল } NH_3]{2 \text{ মোল } NaNH_2} \underset{\text{ডাই সোডিয়াম অ্যাসিটিলাইড}}{NaC{\equiv}CNa} \xrightarrow[\text{তরল } NH_3]{2 \text{ মোল } CH_3Br} \underset{\text{2-বিউটাইন}}{H_3CC{\equiv}CCH_3}$$

(2) অ্যাসিটিলিন থেকে প্রোপাইন :

$$2[HC{\equiv}CH] + 2Na \xrightarrow[NH_3]{\text{তরল}} 2[HC{\equiv}CNa] + H_2$$

$$HC{\equiv}CNa + ICH_3 \longrightarrow HC{\equiv}C{-}CH_3 + NaI$$

(ii) কপার এবং সিলভার অ্যাসিটিলাইড লবণ প্রস্তুতি : অ্যাসিটিলিন এবং প্রান্তীয় অ্যালকাইনগুলি কয়েকটি ভারী ধাতুর আয়ন যেমন, Cu^+, Ag^+-এর সঙ্গে অ্যাসিটিলাইড লবণ উৎপন্ন করে।

কিউপ্রাস ক্লোরাইডের অ্যামোনিয়াযুক্ত দ্রবণে : অ্যাসিটিলিন গ্যাস চালনা করলে লাল রঙের **কিউপ্রাস অ্যাসিটিলাইড অধঃক্ষিপ্ত হয়।**

$$Cu_2Cl_2 + 2NH_4OH + C_2H_2 \rightarrow \underset{\text{কপার অ্যাসিটিলাইড}}{CuC{\equiv}CCu\downarrow} + 2NH_4Cl + 2H_2O$$

(iii) সিলভার নাইট্রেটের অ্যামোনিয়াযুক্ত দ্রবণে অ্যাসিটিলিন গ্যাস চালনা করলে সাদা সিলভার অ্যাসিটিলাইড অধঃক্ষিপ্ত হয়।

$$C_2H_2 + 2AgNO_3 + 2NH_4OH \rightarrow AgC{\equiv}CAg\downarrow + 2NH_4NO_3 + 2H_2O$$

এই দুটি বিক্রিয়ার সাহায্যে কোন গ্যাসের মধ্যে **অ্যাসিটিলিনের উপস্থিতি জানতে পারা যায়।**

কিউপ্রাস অ্যাসিটিলাইড বা সিলভার অ্যাসিটিলাইডকে KCN-এর জলীয় দ্রবণের সঙ্গে মিশিয়ে উত্তপ্ত করলে বিশুদ্ধ অ্যাসিটিলিন পাওয়া যায়।

$$Ag_2C_2 + 2KCN + 2H_2O \rightarrow 2AgCN + 2KOH + C_2H_2$$
$$Cu_2C_2 + 2KCN + 2H_2O \rightarrow 2CuCN + 2KOH + C_2H_2$$

কপার অ্যাসিটিলাইডের সঙ্গে গাঢ় হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় অ্যাসিটিলিন পাওয়া যায়, তবে তা বিশুদ্ধ নয়।

$$Cu_2C_2 + 2HCl \rightarrow Cu_2Cl_2 + C_2H_2$$

● **2-বিউটাইন, অ্যাসিটিলাইড লবণ উৎপন্ন করতে পারে না, কারণ এদের অ্যাসিটিলিনীয় H পরমাণু থাকে না, তাই এদের আম্লিক ধর্ম নেই। 1-বিউটাইন এবং 2-বিউটাইনের মধ্যে পার্থক্য নির্ণয়ে এই বিক্রিয়াটি ব্যবহৃত হয়। যেমন— 1-বিউটাইনে** অ্যাসিটিলিনীয় **H** পরমাণু থাকে বলে NH_3 যুক্ত $AgNO_3$ দ্রবণের সঙ্গে বিক্রিয়ায় Ag অ্যাসিটিলাইডের সাদা অধঃক্ষেপ দেয়। অপরদিকে 2-বিউটাইনে অ্যাসিটিলিনীয় H পরমাণু না থাকায় NH_3 যুক্ত $AgNO_3$-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে না।

$$\underset{\text{1-বিউটাইন}}{CH_3—CH_2—C\equiv CH} + AgNO_3 \xrightarrow{NH_4OH} \underset{\text{সাদা অধঃক্ষেপ}}{CH_3CH_2C\equiv CAg\downarrow}$$

$$\underset{\text{2-বিউটাইন}}{CH_3C\equiv CCH_3} + AgNO_3 \xrightarrow{NH_4OH} \text{কোনো বিক্রিয়া হয় না}$$

● অ্যাসিটিলিন এবং প্রান্তীয় H পরমাণুযুক্ত অ্যালকাইনগুলির অ্যাসিড ধর্ম দেখা যায়। NH_3 যুক্ত Cu_2Cl_2 বা $AgNO_3$ সঙ্গে বিক্রিয়া করে যথাক্রমে **লাল বর্ণের কপার অ্যালকাইনাইড এবং সাদা সিলভার অ্যালকাইনাইড** উৎপন্ন করে। এই লবণগুলি জলে অদ্রাব্য। অ্যালকাইনের প্রান্তীয় H-এর এই ধর্মের জন্য—

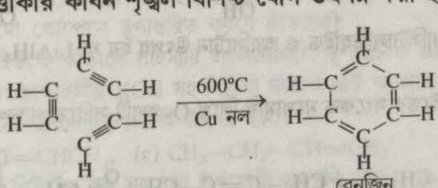
(i) অন্যান্য অ্যালকাইনের মধ্য থেকে অ্যাসিটিলিন ও প্রান্তীয় H পরমাণুযুক্ত অ্যালকাইনগুলিকে শনাক্ত করা যায়।

(ii) অ্যালকেন, অ্যালকিন এবং অন্যান্য অ্যালকাইনগুলি থেকে অ্যাসিটিলিন ও প্রান্তীয় H পরমাণুযুক্ত অ্যালকাইনগুলিকে পৃথক করা যায়।

(E) পলিমারিজেশন (Polymerisation) ঃ

(i) 600°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত একটি কপার নলের ভিতর দিয়ে অ্যাসিটিলিন চালনা করলে বেনজিন উৎপন্ন হয়। এই বিক্রিয়াকে অ্যাসিটিলিনের পরিমারিজেশন বিক্রিয়া বলে।

তিনটি অ্যাসিটিলিন অণু পরস্পর যুক্ত হয়ে বেনজিন অণু গঠন করে। বেনজিন হল অ্যাসিটিলিনের পলিমার। **এই বিক্রিয়ার দ্বারা মুক্ত শৃঙ্খল যৌগ থেকে বৃত্তাকার কার্বন শৃঙ্খল বিশিষ্ট যৌগ উৎপন্ন করা হয়।**



● **প্রতিস্থাপন বিক্রিয়া** (Substitution) ঃ অ্যালকেন হল সম্পৃক্ত হাইড্রোকার্বন। অ্যালকেনের কার্বন পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত H পরমাণু, কোনো একযোজী পরমাণু বা গ্রুপ দ্বারা প্রতিস্থাপিত হতে পারে।

যে বিক্রিয়ায় কোনো জৈব যৌগের কার্বন পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত কোনো একযোজী পরমাণু বা মূলককে অন্য কোনো একযোজী পরমাণু বা মূলক সরাসরি সরিয়ে নিজে সেই পরমাণু বা মূলকের জায়গা অধিকার করে নতুন যৌগ উৎপন্ন করে, সেই বিক্রিয়াকে প্রতিস্থাপন বিক্রিয়া বলে এবং উৎপন্ন পদার্থকে প্রতিস্থাপিত যৌগ বলে। প্রতিস্থাপন বিক্রিয়া সাধারণ অবস্থায় ঘটে না। প্রতিস্থাপন বিক্রিয়া ঘটার জন্য উচ্চ উষ্ণতা, চাপ বা অনুঘটকের প্রয়োজন হয়। এই বিক্রিয়া কোনো পরমাণু বা অণু অপসারিত হয়। যেমন, বিক্ষিপ্ত সূর্যালোকে মিথেনের সঙ্গে Cl_2-এর বিক্রিয়ায় মিথেন অণুর একটি H পরমাণু Cl পরমাণু দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে মিথাইল ক্লোরাইড উৎপন্ন করে এবং প্রতিস্থাপিত H পরমাণু অপর Cl পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত হয়ে HCl-এ পরিণত হয়। **সম্পৃক্ত হাইড্রোকার্বন অ্যালকেন সাধারণত এরকম বিক্রিয়া করে।**

$$CH_4 \xrightarrow[Cl_2]{\text{সূর্যালোক}} CH_3Cl + HCl$$ [এখানে Cl পরমাণু H-কে প্রতিস্থাপিত করে।]

যুত বিক্রিয়া (Addition reaction) ঃ অ্যালকিন বা অ্যালকাইন শ্রেণির যৌগগুলি অসম্পৃক্ত যৌগ। এই যৌগগুলি যুত বিক্রিয়া দ্বারা যৌগ গঠন করে। **যে বিক্রিয়ায় কোনো অসম্পৃক্ত যৌগের অণু অন্য কোনো পরমাণু বা মূলকের সঙ্গে সরাসরি যুক্ত হয়—অণুটির কোনো অংশই পৃথক হয় না, সেই বিক্রিয়াকে যুত বিক্রিয়া বলে এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থকে যুত যৌগ বলে।** এই বিক্রিয়া সাধারণ অবস্থায় ঘটে। যেমন, ইথিলিনের সঙ্গে ব্রোমিনের বিক্রিয়ায় ইথিলিনের দ্বি-বন্ধনের একটি বন্ধন অর্থাৎ π বন্ধনটি খুলে যায়, ফলে দুই কার্বন পরমাণুর দুটি যোজক খুলে যায়। দুটি ব্রোমিন পরমাণু দুটি C পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত হয়ে ইথিলিন ডাইব্রোমাইড উৎপন্ন করে।

$$H_2C{=}CH_2 + \underset{\text{লাল বর্ণ}}{Br_2} \rightarrow \underset{\text{বর্ণহীন}}{BrCH_2{-}CH_2Br}$$

● **কয়েকটি গুরুত্বপূর্ণ প্রশ্নের উত্তর ঃ**

1. *মিথেন, ইথিলিন ও অ্যাসিটিলিনের মিশ্রণ থেকে ওই গ্যাস তিনটিকে কীভাবে পৃথক করবে বর্ণনা করো। উপযুক্ত ক্ষেত্রে বিক্রিয়ার সমীকরণ দাও।*

Ans. (i) মিথেন CH_4, ইথিলিন C_2H_4 এবং অ্যাসিটিলিন C_2H_2-এর গ্যাস মিশ্রণটিকে প্রথমে অ্যামোনিয়াযুক্ত **কিউপ্রাস ক্লোরাইড** দ্রবণের মধ্য দিয়ে চালনা করা হয়। এর ফলে C_2H_2, অ্যামোনিয়াযুক্ত Cu_2Cl_2 দ্রবণ দ্বারা শোষিত হয়ে লাল রঙের **কপার অ্যাসিটিলাইডের অধঃক্ষেপ** উৎপন্ন করে। CH_4 এবং C_2H_4 বিক্রিয়া না করে বেরিয়ে যায়। লাল অধঃক্ষেপটিকে জল দিয়ে ধুয়ে সংগ্রহ করা হয়।

$$Cu_2Cl_2 + C_2H_2 \rightarrow Cu_2C_2\downarrow + 2HCl, \qquad HCl + NH_4OH \rightarrow NH_4Cl + H_2O$$

কপার অ্যাসিটিলাইডের সঙ্গে KCN অথবা HCl-এর বিক্রিয়া করালে আবার অ্যাসিটিলিন বেরিয়ে আসে, একে সংগ্রহ করা হয়।

$$Cu_2C_2 + 2KCN + 2H_2O \rightarrow 2CuCN + 2KOH + C_2H_2\uparrow$$

(ii) নির্গত গ্যাস মিশ্রণটিকে (CH_4, C_2H_4) ধূমায়মান $\mathbf{H_2SO_4}$-এর মধ্য দিয়ে চালনা করা হয়। এর ফলে CH_4 গ্যাসটি কোনো বিক্রিয়া না করে বেরিয়ে যায়। এই CH_4-কে গ্যাসজারে সংগ্রহ করা হয়। C_2H_4, ধূমায়মান H_2SO_4-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে **ইথাইল হাইড্রোজেন সালফেট** উৎপন্ন করে। উৎপন্ন ইথাইল হাইড্রোজেন সালফেটকে 160ºC উষ্ণতায় উত্তপ্ত করলে C_2H_4 গ্যাস বেরিয়ে আসে। একে সংগ্রহ করা হয়।

$$C_2H_4 + H_2SO_4 \longrightarrow C_2H_5HSO_4; \qquad C_2H_5HSO_4 \xrightarrow{160^\circ C} C_2H_4\uparrow + H_2SO_4$$

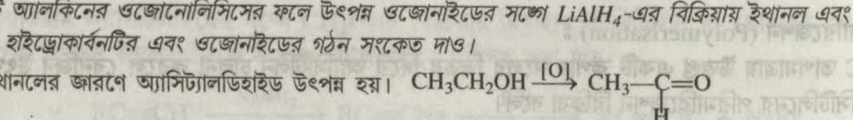
2. *একটি অ্যালকিনের ওজোনোলিসিসের ফলে উৎপন্ন ওজোনাইডের সঙ্গে $LiAlH_4$-এর বিক্রিয়ায় ইথানল এবং প্রোপান-2-অল পাওয়া যায়। হাইড্রোকার্বনটির এবং ওজোনাইডের গঠন সংকেত দাও।*

Ans. ইথানলের জারণে অ্যাসিট্যালডিহাইড উৎপন্ন হয়। $CH_3CH_2OH \xrightarrow{[O]} CH_3{-}\underset{H}{\underset{|}{C}}{=}O$

প্রোপান-2-অলের জারণে অ্যাসিটোন উৎপন্ন হয়। $CH_3{-}\underset{OH}{\underset{|}{CH}}{-}CH_3 \xrightarrow{[O]} CH_3{-}\underset{O}{\underset{\|}{C}}{-}CH_3$

সুতরাং ওজোনাইডের আর্দ্র বিশ্লেষণে অ্যাসিট্যালডিহাইড ও অ্যাসিটোন উৎপন্ন হয় যা $LiAlH_4$ দ্বারা বিজারিত হয়ে যথাক্রমে ইথানল ও প্রোপান-2-অলে পরিণত হয়।

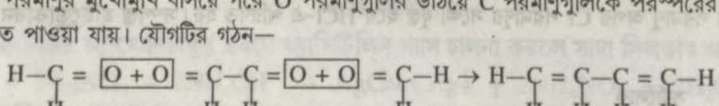
সুতরাং অ্যাসিটোন এবং অ্যাসিট্যালডিহাইডের সংকেত মুখোমুখি লিখে O_2 অণুটি সরিয়ে পরস্পর যুক্ত করলেই নির্ণেয় অ্যালকিনটির গঠন পাওয়া যাবে।



অ্যালকিনটির IUPAC নাম 2-মিথাইল বিউট-2-ইন।

3. *একটি জৈব যৌগকে ওজোনোলিসিস করায় 2 অণু ফর্ম্যালডিহাইড এবং এক অণু গ্লাইঅক্সাল পাওয়া গেল। জৈব যৌগটির গঠন সংকেত লেখো এবং IUPAC নাম লেখো।*

Ans. ফর্ম্যালডিহাইড এবং গ্লাইঅক্সালে কার্বনিল মূলক আছে। ওদের O পরমাণু আসে O_3 থেকে, সুতরাং আদি যৌগটিতে এই কার্বনিল মূলকের C পরমাণুগুলি পরস্পরের সঙ্গে দ্বিবন্ধন দ্বারা যুক্ত ছিল। সুতরাং 2 অণু ফর্ম্যালডিহাইডের প্রত্যেকটির O পরমাণুকে গ্লাইঅক্সালের দুটি O পরমাণুর মুখোমুখি বসিয়ে পরে O পরমাণুগুলির উঠিয়ে C পরমাণুগুলিকে পরস্পরের সঙ্গে যোগ করলে আদি যৌগটির গঠন সংকেত পাওয়া যায়। যৌগটির গঠন—



অনুশীলনী

[A] অতি সংক্ষিপ্ত উত্তরধর্মী ঃ

(1) অ্যালকেন কাদের বলা হয়? **(2)** কোন হাইড্রোকার্বনের H পরমাণু ধাতু দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়? **(3)** অ্যালকোহলের নিরুদনে কোন হাইড্রোকার্বন উৎপন্ন হয়? **(4)** অ্যালকাইন যৌগ কাদের বলা হয়? **(5)** মিথেনকে মার্শ গ্যাস বলা হয় কেন? **(6)** $CH_2{=}CH{-}CH_3$—এই যৌগে কয়টি σ বন্ধন ও কটি π বন্ধন আছে? **(7)** $CH_2{=}CH_2$ যৌগে একটি Br পরমাণু যোগ করবে কীভাবে? **(8)** একটি অ্যালকাইনে যে অ্যাসিটিলিনীয় H পরমাণু আছে, জানবে কীভাবে? **(9)** $H{-}\underset{H}{\underset{|}{C}}{=}CHCH_3$ -কে ওজোনোলিসিস্ করলে কী কী পাওয়া যাবে? **(10)** *sp* সংকরায়ণ কাকে বলে? C_2H_6, C_2H_4, C_2H_2—এদের C—C পরমাণু দুটির কোনটির ক্ষেত্রে *sp*, সংকরায়ণ আছে? **(11)** পেট্রোলিয়াম কী? **(12)** L.P.G. কী বস্তু? **(13)** জেলডাল তরল বলতে কী বোঝ?

[B] সংক্ষিপ্ত উত্তরধর্মী ঃ

(1) অ্যালকেন কাদের বলা হয়? কী কী সাধারণ প্রণালীতে অ্যালকেন প্রস্তুত করা যায়? **(2)** অ্যালিফিন কী জাতীয় যৌগ? এদের দুটি সাধারণ প্রস্তুত প্রণালী উদাহরণ সহ লেখো। **(3)** প্রতিস্থাপন বিক্রিয়া এবং যুত বিক্রিয়া কাকে বলে? প্রতিটির উদাহরণ দাও। **(4)** অ্যালকিনের 3টি সাধারণ প্রস্তুত প্রণালী বর্ণনা করো। **(5)** ইথিলিনের সাথে Br_2, HBr, H_2, ওজোনের বিক্রিয়া সমীকরণ সহ বর্ণনা করো।

(6) সমীকরণ সহ বিবৃত করো যা ঘটে যখন— (i) একটি লোহিত তপ্ত নলের মধ্য দিয়ে অ্যাসিটিলিনকে চালনা করা হল। **(ii)** শুষ্ক ইথারের উপস্থিতিতে ধাতব Na-এর সঙ্গে ইথাইল আয়োডাইডের বিক্রিয়া করা হল। **(iii)** 400ºC উষ্ণতায় অবস্থিত অ্যালুমিনার উপর প্রোপানলের বাষ্প চালনা করা হয়। **(iv)** অ্যাসিটিলিন গ্যাসকে 60ºC উষ্ণতায় $HgSO_4$ যুক্ত H_2SO_4 দ্রবণে (20%) প্রবাহিত করা হল। **(v)** অ্যালুমিনিয়াম কার্বাইডের সঙ্গে জলের বিক্রিয়া করা হল। **(vi)** টেট্রা আয়োডো ইথেনকে Zn চূর্ণের সঙ্গে উত্তপ্ত করা হল। **(vii)** ক্লোরোফর্মকে রৌপ্য সহ উত্তপ্ত করা হল। **(viii)** ইথাইল অ্যালকোহল বাষ্পকে পৃথকভাবে উত্তপ্ত অ্যালুমিনা এবং উত্তপ্ত কিউপ্রিক অক্সাইডের উপর চালনা করা হল। **(ix)** অ্যাসিটিলিনকে অ্যামোনিয়া মিশ্রিত কিউপ্রাস ক্লোরাইড দ্রবণে চালনা করা হল। **(x)** প্রোপিনের সঙ্গে H_2O-এর উপস্থিতিতে HBr-এর সঙ্গে বিক্রিয়া ঘটানো হল। **(xi)** $HgSO_4$-এর উপস্থিতিতে গ্লেসিয়াল অ্যাসেটিক অ্যাসিডের সঙ্গে অ্যাসিটিলিনের বিক্রিয়া ঘটানো হল।

(xii) দুটি বিক্রিয়ায় বিক্রিয়াজাত পদার্থ দুটির নাম করো—$CH_3{-}CH{=}CH_2$ $\xrightarrow{HCl}$? ; $\xrightarrow[\text{HCl}]{\text{পারক্সাইড}}$?

(7) (a) অ্যাসিটিলিনের আম্লিকতা কীভাবে প্রমাণ করবে?

(b) নীচের পরিবর্তনে প্রয়োজনীয় বিজারকের নাম লেখো—

(i) $HC{\equiv}CH \rightarrow CH_3CHO$, **(ii)** $HC{\equiv}CH \rightarrow HC{\equiv}CNa$, **(iii)** $CHCl_3 \rightarrow HC{\equiv}CH$, **(iv)** $C_2H_4 \rightarrow H_2C{-}CH_2$

(8) (a) 2-প্রোপানলকে 1-ব্রোমো প্রোপেনে রূপান্তরিত করবে কীভাবে?

(9) (a) একটি অ্যালকিল ব্রোমাইডকে কীভাবে প্রাইমারি অ্যালকোহলে রূপান্তরিত করবে যাতে 2টি বেশি সংখ্যক কার্বন পরমাণু আছে? **(b)** 2-ব্রোমো বিউটেনকে অ্যালকোহলীয় KOH সহ বিক্রিয়া ঘটালে কটি অ্যালকেন পাওয়া যেতে পারে? তাদের নাম করো।

(10) নীচের যৌগগুলির ওজোনোলিসিসের ফলে কী উৎপন্ন হবে?

(a) $H_2C{=}CHCH_2$, **(b)** $H_2C{=}CHCH_3$, **(c)** $CH_3{-}CH_2{-}CH{=}CH_2$

(11) (a) শহরে ব্যবহারের জন্য বিউটেন হল সবচেয়ে উপযোগী জ্বালানি কেন? **(b)** নিওপেন্টেন মাত্র একটি মনোক্লোরো যৌগ দেয় কেন?

(12) ফাংশনাল গ্রুপ (ক্রিয়াশীলমূলক) বলতে কী বোঝ? কয়েকটি ফাংশনাল গ্রুপের নাম ও গঠন উল্লেখ করো।

(13) (a) সম্পৃক্ত এবং অসম্পৃক্ত যৌগ কাদের বলে? তাদের বৈশিষ্ট্য এবং পার্থক্য সম্বন্ধে যা জান লেখো।

(b) সমগোত্র বা সমগণীয় শ্রেণি বলতে কী বোঝ? দুটি সমগণীয় শ্রেণির সাধারণ সংকেত উল্লেখ করো এবং প্রত্যেক শ্রেণির চারটি করে যৌগের নাম লেখো।

(14) নীচের যৌগগুলিকে কার্যকরী মূলকের ভিত্তিতে শ্রেণিবিভাগ করো ঃ

(i) CH_3OH **(ii)** CH_3CHO **(iii)** $CH_3\ CH_2\ COOH$ **(iv)** $CH_3{-}\overset{O}{\overset{\|}{C}}{-}CH_2{-}CH_3$

(v) $CH_3{-}CH_2{-}O{-}CH_3$ **(vi)** $CH_3\ CH_2\ CN$

15. সংক্ষিপ্ত উত্তর দাও ঃ (a) আণবিক সংকেত জৈবযৌগের প্রকৃত পরিচয় বহন করে না—ব্যাখ্যা করো। **(b)** জৈবযৌগের সংখ্যা অনেক হলেও, জৈব রসায়ন আয়ত্ত সহজ কেন? **(c)** জৈবযৌগে কার্যকরী গ্রুপই কার্যকর ভূমিকা পালন করে, অ্যালকিল মূলক নিষ্ক্রিয় থাকে—প্রমাণ করো। **(d)** প্রতিস্থাপন বিক্রিয়া এবং যুত বিক্রিয়া কাকে বলে উদাহরণ দ্বারা বুঝিয়ে দাও।

16. I.U.P.A.C. পদ্ধতিতে নীচের যৌগগুলির নামকরণ করো ঃ

(i) $CH_3—CH_2—CH=CH_2$ **(ii)** $CH_3CH(CH_3)CH_3$ **(iii)** $C(CH_3)_4$ **(iv)** $CH_3\ CH(CH_3)C(CH_3)_3$ **(v)** $CH_3—CO—CH_2CH_3$

17. (a) নীচের বিক্রিয়াগুলিতে A, B, C ইত্যাদির নাম বলো। বিক্রিয়াগুলি ব্যাখ্যা করে পদার্থগুলির সংকেত লেখো—

(i) $$CH\equiv CH \xrightarrow{Cu_2Cl_2/NH_3} (A) \xrightarrow{HCl} (B) \xrightarrow{[H]} (C)$$

(ii) $$CH_3CH_2OH \xrightarrow[180^{\circ}C]{\text{গাঢ় } H_2SO_4} (A) \xrightarrow{Br_2} (B) \xrightarrow[\text{অ্যালকোহল}]{KOH} (C)$$

(iii) $$CH_3—CH=CH_2 \xrightarrow{HBr} (A) \xrightarrow{KCN} (B) \xrightarrow{H^+.H_2O} (C)$$

18. 1-বিউটাইন এবং 2-বিউটাইনকে পৃথকভাবে নীচের বিকারকগুলির সঙ্গে বিক্রিয়া ঘটানো হল—**(i)** Na-তরল NH_3, **(ii)** H_2 এক মৌল, **(iii)** Pd-$BaSO_4$ কুইনোলিন, **(iv)** H_2SO_4/H_2O $HgSO_4$, **(v)** H_2/Pt। কোন বিকারকগুলি উভয় ক্ষেত্রে একই বিক্রিয়াজাত পদার্থ উৎপন্ন হবে। এই ক্ষেত্রেও বিক্রিয়াজাত পদার্থগুলির গঠন লেখো।

19. নিম্নলিখিত জৈব যৌগ জোড়গুলির স্বতন্ত্রীকরণের জন্য প্রতি ক্ষেত্রে একটি করে রাসায়নিক বিক্রিয়ার উল্লেখ করো।

(i) ইথিলিন ও অ্যাসিটিলিন, **(ii)** ইথেন ও ইথিলিন, **(iii)** মিথেন ও অ্যাসিটিলিন, **(iv)** বিউট-1-আইন এবং বিউট-2-আইন।

20. কারণ নির্দেশ করো—(a) "কার্বনের ইলেকট্রন বিন্যাস $1s^2$, $2s^2$, $2p^2$ হলেও এর যোজ্যতা চার।"

(b) সিগ্‌মা বন্ধনের চেয়ে π বন্ধন দুর্বল কেন? C_2H_4 এবং C_2H_2 অণুতে কয়টি করে σ বন্ধন এবং π বন্ধন থাকে।

(21) সমাবয়বতা (isomerism) কাকে বলে? গঠন ঘটিত সমাবয়বতা কয় প্রকার এবং কী কী? প্রত্যেক প্রকার সমাবয়বতার উদাহরণ দাও। অবস্থানগত এবং কার্যকরী মূলকগত সমাবয়বতার উদাহরণ দাও।

(22) জৈব যৌগে নাইট্রোজেন, হ্যালোজেন, সালফার ও ফসফরাসের উপস্থিতির পরীক্ষাগুলির নীতি সমীকরণ সহ বর্ণনা করো।

(23) কোন জৈব যৌগে নীচেরগুলির পরিমাণ জানার জন্য যে পরীক্ষাগুলি করা হয়, সেগুলির প্রত্যেকটির নীতি সমীকরণ সহ বর্ণনা করো—**(a)** কার্বন এবং হাইড্রোজেন, **(b)** অক্সিজেন, **(c)** নাইট্রোজেনের পরিমাণ নির্ণয়ের জন্য ডুমার পরীক্ষা।

(24) কোনো জৈব যৌগে উপস্থিত নাইট্রোজেনের পরিমাণ জানার জন্য জেলডাল পরীক্ষার নীতি সমীকরণ সহ ব্যাখ্যা করো।

(25) জৈব যৌগে হ্যালোজেন ও সালফারের পরিমাণ নির্ণয়ের জন্য ক্যারিয়াসের পরীক্ষার নীতি সমীকরণ সহ ব্যাখ্যা করো।

[C] নৈর্ব্যক্তিক প্রশ্ন ঃ

সঠিক উত্তরটি অথবা উত্তরগুলি নির্বাচন করো—

(1) $HgSO_4$-এর উপস্থিতিতে প্রোপাইনের সঙ্গে জল মিশ্রিত H_2SO_4-এর বিক্রিয়ায় প্রধান উৎপন্ন দ্রব্য হল—
(a) প্রোপান্যাল, **(b)** প্রোপাইল হাইড্রোজেন সালফেট, **(c)** অ্যাসিটোন, **(d)** প্রোপানল। [*Ans.* (c)]

(2) *n*-প্রোপাইল ব্রোমাইডের সঙ্গে ইথানলীয় KOH-এর বিক্রিয়ায় উৎপন্ন হয়—
(a) প্রোপেন, **(b)** প্রোপিন, **(c)** প্রোপাইন, **(d)** প্রোপানল। [*Ans.* (b)]

(3) C—H বন্ধন দৈর্ঘ্য সর্বনিম্ন হয় যখন বন্ধনটি গঠিত হয়—
(a) $sp—s$ অভিলেপন দ্বারা, **(b)** $sp^2—s$ অভিলেপন দ্বারা, **(c)** $sp^3—s$ অভিলেপন দ্বারা। [*Ans.* (a)]

(4) নীচের কোন m বন্ধনটি সবচেয়ে দৃঢ়?
(a) $sp^3—sp^3$ হাইব্রিডাইজড C পরমাণু দ্বারা গঠিত বন্ধন, **(b)** $sp^2—sp^2$ হাইব্রিডাইজড C পরমাণু দ্বারা গঠিত বন্ধন, **(c)** $sp—sp$ হাইব্রিডাইজড C পরমাণু দ্বারা গঠিত বন্ধন। [*Ans.* (c)]

(5) মারকনিকফ নিয়মের বিরুদ্ধে HBr-এর সংযোজন দেখা যায় না—
(a) প্রোপিনে, **(b)** বিউটিনে, **(c)** বিউট-2-ইন-এ, **(d)** পেন্ট-2-ইন-এ। [*Ans.* (c)]

[D] গাণিতিক প্রশ্ন ঃ

(1) একটি জৈব যৌগে 61% C, 11·88% H আছে। যৌগটির আণবিক ভার 118 হলে যৌগটির আণবিক সংকেত নির্ণয় করো। [*Ans.* $C_6H_{12}O_2$]

(2) একটি যৌগে 40% C, 66·7% H আছে। যৌগটির বাষ্পঘনত্ব 30 হলে ওর আণবিক সংকেত নির্ণয় করো। [*Ans.* $C_2H_4O_2$]

(3) একটি জৈব অ্যাসিডে 34·6% C, 3·85% H, আছে। 3·812 mg অ্যাসিডকে প্রশমিত করতে 0·01 N NaOH দ্রবণের 7·33 cm^3 আয়তনের দরকার হয়। অ্যাসিডটির সম্ভাব্য গঠন নির্ণয় করো। [*Ans.* $CH_2(COOH)_2$, ম্যালোনিক অ্যাসিড]

(4) একটি জৈব একক্ষারী অ্যাসিডের বিশ্লেষণে 0·505 g CO_2 এবং 0·0864 g H_2O পাওয়া যায়। 0·305 g অ্যাসিড M/10 NaOH দ্রবণের 25 cm^3-কে প্রশমিত করে। অ্যাসিডটির আণবিক সংকেত নির্ণয় করো। [*Ans.* $C_7H_6O_2$]

(5) জেলডাল পদ্ধতিতে একটি জৈব যৌগে N_2-এর পরিমাণ নির্ণয়ের সময় 0·5 g জৈব যৌগটি থেকে নির্গত NH_3, 1 M H_2SO_4-এর 10 ml-কে প্রশমিত করে। যৌগটিতে নাইট্রোজেনের শতকরা পরিমাণ নির্ণয় করো। [*Ans.* 56%]

(6) একটি জৈব যৌগের 0·3 g, 300k উষ্ণতায় এবং 715 mm চাপে 50 cm^3 N_2 দেয়। যৌগটিতে N-এর শতকরা পরিমাণ নির্ণয় করো। 300k উষ্ণতায় জলীয় বাষ্পচাপ = 15 mm. [*Ans.* 17·46%]

4 জৈব যৌগের রসায়ন (2)
[Chemistry of organic compounds (2)]

4.1. হ্যালোহাইড্রোকার্বন [Halohydrocarbons]

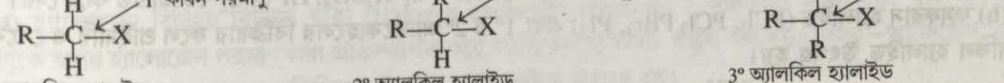
হাইড্রোকার্বনের এক বা একাধিক হাইড্রোজেন পরমাণু হ্যালোজেন পরমাণু (Cl, Br, I ও F) দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে যে যৌগ উৎপন্ন হয়, তাকে **হ্যালোহাইড্রোকার্বন** বলে।

অ্যালকেনের হাইড্রোজেন পরমাণু হ্যালোজেন পরমাণু দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে যে যৌগ উৎপন্ন হয়, তাকে **অ্যালকিল হ্যালাইড** বা **হ্যালো অ্যালকেন** বলে। অ্যালকিন ও অ্যালকাইনের হ্যালোজেন ঘটিত যৌগকে যথাক্রমে **অ্যালকিনাইল হ্যালাইড** ও **অ্যালকানাইল হ্যালাইড** বলে।

অ্যালকেনের এক বা একাধিক হাইড্রোজেন পরমাণু একটি, দুটি, তিনটি বা চারটি হ্যালোজেন পরমাণু দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে যথাক্রমে মনো, ডাই, ট্রাই বা টেট্রা হ্যালোজেন ঘটিত অ্যালকেনের যৌগ উৎপন্ন করতে পারে।

(i) অ্যালকেনের একটি হাইড্রোজেন পরমাণু হ্যালোজেন দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে যে যৌগ গঠিত হয়, তাকে **অ্যালকিল হ্যালাইড** বা **হ্যালো অ্যালকেন** বলে। এদের সাধারণ সংকেত $C_nH_{2n+1}X$ (X = হ্যালোজেন পরমাণু)।

অ্যালকিল হ্যালাইডগুলিকে সাধারণত তিনটি শ্রেণিতে ভাগ করা হয়, যথা প্রাইমারি, সেকেন্ডারি ও টারসিয়ারি অ্যালকিল হ্যালাইড। প্রাইমারি, সেকেন্ডারি ও টারসিয়ারি অ্যালকিল হ্যালাইডে হ্যালোজেন পরমাণু যথাক্রমে প্রাইমারি অর্থাৎ 1° কার্বন পরমাণুর সাথে, সেকেন্ডারি অর্থাৎ 2° কার্বন পরমাণুর সাথে এবং টারসিয়ারি অর্থাৎ 3° কার্বন পরমাণুর সাথে যুক্ত থাকে।



1° অ্যালকিল হ্যালাইড   2° অ্যালকিল হ্যালাইড   3° অ্যালকিল হ্যালাইড

(ii) অ্যালকেনের দুটি H পরমাণু হ্যালোজেন পরমাণু দ্বারা প্রতিস্থাপিত হলে **ডাইহ্যালাইড** উৎপন্ন হয়। যেমন, ইথেনের 2টি H পরমাণু 2টি Cl পরমাণু দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে ডাইক্লোরোইথেন ($C_2H_4Cl_2$) উৎপন্ন করে।

জেম ডাইহ্যালাইড ঃ ডাইহ্যালাইড যৌগে, হ্যালোজেন পরমাণু দুটি যদি একই কার্বন পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত থাকে, তবে তাকে **জেম ডাইহ্যালাইড** বলে। যেমন—1,1-ডাইক্লোরো ইথেন ঃ $CH_3—CHCl_2$

ভিসিন্যাল ডাইহ্যালাইড ঃ যদি হ্যালোজেন পরমাণু দুটি পাশাপাশি দুটি কার্বন পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত থাকে তবে তাকে **ভিসিন্যাল ডাইহ্যালাইড** বলে। যেমন—1,2-ডাইক্লোরো ইথেন ঃ $Cl—CH_2—CH_2—Cl$

4.2. অ্যালকিল হ্যালাইডের সাধারণ প্রস্তুতি-পদ্ধতি [General methods of preparation of alkyl halide]

(1) অ্যালকোহল থেকে ঃ অ্যালকোহলের হাইড্রক্সিল (OH) গ্রুপকে হ্যালোজন পরমাণু দ্বারা প্রতিস্থাপিত করে অ্যালকিল হ্যালাইড পাওয়া যায়।

(a) অনার্দ্র $ZnCl_2$-এর উপস্থিতিতে অ্যালকোহলের সঙ্গে হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের বিক্রিয়া দ্বারা অ্যালকিল ক্লোরাইড উৎপন্ন হয়। এই বিক্রিয়ায় $ZnCl_2$ লুইস অ্যাসিডরূপে ব্যবহৃত হয়।

$$R—\boxed{OH + H}\ Cl \xrightarrow{\text{অনার্দ্র } ZnCl_2} R—Cl + H_2O$$

$$C_2H_5\boxed{OH + H}\ Cl \xrightarrow{\text{অনার্দ্র } ZnCl_2} \underset{\text{ইথাইল ক্লোরাইড}}{C_2H_5Cl} + H_2O$$

HBr ও HI-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় সহজেই অ্যালকিল হ্যালাইড উৎপন্ন হয়। এই বিক্রিয়ায় হ্যালোজেন অ্যাসিডগুলির বিক্রিয়া ক্রম হল ঃ HF < HCl < HBr < HI. আবার বিভিন্ন শ্রেণির অ্যালকোহলের নির্দিষ্ট হ্যালোজেন অ্যাসিডের সাথে বিক্রিয়ার ক্রম হল—

$$\underset{1^\circ \text{ অ্যালকোহল}}{RCH_2OH} < \underset{2^\circ \text{ অ্যালকোহল}}{R_2CHOH} < \underset{3^\circ \text{ অ্যালকোহল}}{R_3COH}$$

অ্যালকোহলের সঙ্গে স্থির স্ফুটনাঙ্কী 48% HBr ও সামান্য পরিমাণ গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড মিশিয়ে উত্তপ্ত করলে অ্যালকিল ব্রোমাইড উৎপন্ন হয়।

$$R\text{—}OH + HBr \xrightarrow[\Delta]{\text{গাঢ় } H_2SO_4} R\text{—}Br + H_2O$$

যেমন ঃ
$$C_2H_5OH + HBr \xrightarrow[\Delta]{\text{গাঢ় } H_2SO_4} \underset{\text{ইথাইল ব্রোমাইড}}{C_2H_5Br} + H_2O$$

2° এবং 3° অ্যালকোহলের ক্ষেত্রে গাঢ় H_2SO_4 ব্যবহার করা হয় না, কারণ 2° ও 3° অ্যালকোহল গাঢ় H_2SO_4 দ্বারা নিরুদিত হয়ে অ্যালকিনে পরিণত হয়।

অ্যালকোহল, পটাশিয়াম ব্রোমাইড ও গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের মিশ্রণ উত্তপ্ত করলেও অ্যালকিল ব্রোমাইড তৈরি হয়।

$$C_2H_5OH \xrightarrow[\Delta]{KBr + H_2SO_4} C_2H_5Br + KHSO_4 + H_2O$$

অ্যাসিডের অনুপস্থিতিতে অ্যালকোহল, NaCl, NaBr বা NaI-এর সাথে বিক্রিয়া করে অ্যালকিল হ্যালাইড উৎপন্ন করতে পারে না। প্রাইমারি ও সেকেন্ডারি অ্যালকোহল সোডিয়াম হ্যালাইড (NaX) ও H_2SO_4-এর সাথে বিক্রিয়া করে অ্যালকিল হ্যালাইড উৎপন্ন করে।
$$\underset{1^\circ \text{ বা } 2^\circ}{ROH} + NaX + H_2SO_4 \rightarrow R\text{—}X + NaHSO_4 + H_2O$$

স্থির স্ফুটনাঙ্কী হাইড্রোআয়োডিক অ্যাসিড (57% HI), H_2SO_4-এর অনুপস্থিতিতে, অ্যালকোহলের সাথে বিক্রিয়ায় অ্যালকিল আয়োডাইড উৎপন্ন করে। $ROH + HI \rightarrow RI + H_2O$

প্রত্যক্ষভাবে HI ব্যবহার না করে, অ্যালকোহলকে NaI বা KI এবং 95% ফসফরিক অ্যাসিড সহ উত্তপ্ত করলে বেশি পরিমাণে অ্যালকিল আয়োডাইড তৈরি হয়। প্রথমে NaI বা KI, H_3PO_4-এর সাথে বিক্রিয়ায় HI উৎপন্ন হয় যা অ্যালকোহলকে R—I-এ পরিণত করে। এই বিক্রিয়ায় গাঢ় H_2SO_4 ব্যবহার করা যায় না, কারণ গাঢ় H_2SO_4, HI-কে I_2-তে জারিত করে দেয়।

(b) ফসফরাস হ্যালাইড (PCl_5, PCl_3 PBr_3, PI_3) এবং 1° ও 2° **অ্যালকোহলের বিক্রিয়ার ফলে প্রাইমারি ও সেকেন্ডারি অ্যালকিল হ্যালাইড উৎপন্ন হয়।**

$$ROH + PCl_5 \rightarrow RCl + POCl_3 + HCl$$
$$3ROH + PCl_3 \rightarrow 3RCl + H_3PO_3$$
$$C_2H_5OH + PCl_5 \rightarrow C_2H_5Cl + POCl_3 + HCl$$

অনেক সময় ফসফরাস ট্রাই-হ্যালাইড সরাসরি ব্যবহার করা হয় না। যেমন, **ব্রোমাইড বা আয়োডাইড তৈরি করতে হলে লাল ফসফরাসের সঙ্গে ব্রোমিন বা আয়োডিন উত্তপ্ত করে বিক্রিয়া পাত্রেই PX_3 উৎপন্ন করে নেওয়া হয়।**

$$2P + 3Br_2 \rightarrow 2PBr_3$$
$$3C_2H_5OH + PBr_3 \rightarrow 3C_2H_5Br + H_3PO_3$$
$$3CH_3\text{—}\underset{OH}{\underset{|}{CH}}\text{—}CH_3 + PBr_3 \xrightarrow{0^\circ C} 3CH_3\underset{Br}{\underset{|}{C}}HCH_3 + H_3PO_3$$

(c) 1° বা 2° অ্যালকোহল ও থায়োনিল ক্লোরাইড ($SOCl_2$) সহজেই বিক্রিয়া করে অ্যালকিল ক্লোরাইড উৎপন্ন করে। পার্শ্বজাত হিসাবে উৎপন্ন SO_2 এবং HCl গ্যাস রূপে বেরিয়ে যায় তাই এই বিক্রিয়ায় উৎপন্ন অ্যালকিল ক্লোরাইড বিশুদ্ধ রূপে পাওয়া যায়।

$$R\text{—}OH + SOCl_2 \rightarrow R\text{—}Cl + SO_2 + HCl$$
$$CH_3CH_2OH + SOCl_2 \rightarrow CH_3CH_2Cl + SO_2 + HCl$$
$$\underset{\text{2-বিউটানল}}{CH_3CH_2\text{—}\underset{OH}{\underset{|}{CH}}\text{—}CH_3} + SOCl_2 \longrightarrow \underset{\text{2-ক্লোরো বিউটেন}}{CH_3CH_2\text{—}\underset{Cl}{\underset{|}{CH}}\text{—}CH_3}$$

(2) অ্যালকেনের সঙ্গে হ্যালোজেনের প্রতিস্থাপন বিক্রিয়া দ্বারা ঃ অ্যালকেন অর্থাৎ সম্পৃক্ত হাইড্রোকার্বন ও হ্যালোজেনের সরাসরি প্রতিস্থাপন বিক্রিয়ায় অ্যালকিল হ্যালাইড উৎপন্ন হয়। আলোক উত্তাপ বা তাপ বা অনুঘটকের উপস্থিতিতে বিক্রিয়া ত্বরান্বিত হয়।

$$CH_4 + Cl_2 \xrightarrow{h\nu} CH_3Cl + HCl$$
$$C_2H_6 + Br_2 \xrightarrow{h\nu} C_2H_5Br + HBr$$

অ্যালকেনের সঙ্গে I_2-এর বিক্রিয়াটি উভমুখি। বিক্রিয়ার ফলে যে HI উৎপন্ন হয় তা শক্তিশালী বিজারক, তাই অ্যালকিল আয়োডাইডকে বিজারিত করে আবার অ্যালকেনে পরিণত করে। এই জন্য উৎপন্ন **HI-কে নষ্ট করার জন্য এক্ষেত্রে I_2-এর সঙ্গে HNO_3, HIO_3, HgO প্রভৃতি জারক পদার্থ যোগ করা হয়।**

$$C_2H_6 + I_2 \rightleftharpoons C_2H_5I + HI \qquad 5HI + HIO_3 \rightarrow 3I_2 + 3H_2O$$

(3) অসম্পৃক্ত হাইড্রোকার্বন ও হ্যালোজেন অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় অ্যালকিল হ্যালাইড উৎপন্ন হয়। ইথিলিন ও হাইড্রোব্রোমিক অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় ইথাইল ব্রোমাইড তৈরি হয়।

$$R—CH{=}CH_2 + HX \rightarrow R—CHX—CH_3, \qquad (X = Cl, Br, I)$$
$$H_2C{=}CH_2 + HBr \rightarrow CH_3CH_2—Br$$

অপ্রতিসম অ্যালকিনের ক্ষেত্রে, হ্যালোজেন অ্যাসিডের সংযুতি মারকনিকফের সূত্র অনুযায়ী হয়—অর্থাৎ অ্যালকিনের দ্বি-বন্ধনযুক্ত কার্বন পরমাণু দুটির মধ্যে যে কার্বন পরমাণুটির সঙ্গে সবচেয়ে কম সংখ্যক হাইড্রোজেন পরমাণু যুক্ত থাকে, হ্যালোজেন অ্যাসিডের হ্যালোজেন পরমাণুটি সেই কার্বন পরমাণুতে যুক্ত হয়।

যেমন ঃ

$$\underset{\text{প্রোপিন}}{CH_3—CH = CH_2} + HBr \rightarrow \underset{\text{2-ব্রোমো প্রোপেন}}{CH_3—\underset{Br}{\underset{|}{CH}}—CH_3}$$

● **অসম অ্যালকিনের সাথে হাইড্রোজেন ব্রোমাইডের (HBr) বিক্রিয়া যদি জৈব পারক্সাইডের উপস্থিতিতে ঘটানো হয়,** তাহলে মারকনিকফের সূত্রের বিপরীত ঘটনা ঘটে অর্থাৎ যে C পরমাণুটিতে H পরমাণুর সংখ্যা কম থাকে, সেই C-পরমাণুর সাথে H পরমাণুটি এবং যে C পরমাণুটিতে H পরমাণুর সংখ্যা বেশি থাকে তার সাথে ব্রোমিন পরিমাণুটি যুক্ত হয়।

$$\underset{\text{প্রোপিন}}{CH_3—CH = CH_2} + HBr \xrightarrow[\text{বেনজয়েল পারক্সাইড}]{Ar–O–O–Ar} \underset{\text{1-ব্রোমোপ্রোপেন}}{CH_3—CH_2—CH_2—Br} \qquad (Ar = C_6H_5—\overset{O}{\overset{||}{C}}—)$$

(4) হ্যালোজেন বিনিময় বিক্রিয়া দ্বারা (Halogen exchange reaction) ঃ অ্যালকিল হ্যালাইডের 1টি হ্যালোজেন পরমাণুকে অপর হ্যালোজেন পরমাণু দ্বারা প্রতিস্থাপিত করে অ্যালকিল হ্যালাইড প্রস্তুত করা হয়। **যেমন—অ্যাসিটোন মাধ্যমে ইথাইল ব্রোমাইডের সঙ্গে KI-এর বিক্রিয়ায় ইথাইল আয়োডাইড উৎপন্ন হয়।**

$$CH_3CH_2Br + KI \xrightarrow{CH_3COCH_3} CH_3CH_2I + KBr$$

(5) হুন্ডস্‌ডিকার বিক্রিয়া দ্বারা (Hundsdiecker reaction) ঃ কার্বোক্সিলিক অ্যাসিডের সিলভার লবণকে কার্বন ট্রেটাক্লোরাইড দ্রবণে নিয়ে Br_2 ও Cl_2-এর সাথে বিক্রিয়া করলে অ্যালকিল ব্রোমাইড ও ক্লোরাইড পাওয়া যায়।

$$RCOOAg + Br_2 \rightarrow R—Br + CO_2\uparrow + AgBr\downarrow$$
$$CH_3COOAg + Br_2 \rightarrow CH_3Br + CO_2\uparrow + AgBr\downarrow$$

4.3. অ্যালকিল হ্যালাইডের সাধারণ ধর্ম [General Properties of Alkyl halides]

● **ভৌত ধর্ম ঃ** মিথাইল ক্লোরাইড, মিথাইল ব্রোমাইড ও ইথাইল ক্লোরাইড সাধারণ তাপমাত্রায় গ্যাসীয়। অধিকাংশ অ্যালকিল হ্যালাইড মিস্ট গন্ধবিশিষ্ট বর্ণহীন তরল পদার্থ।

এই যৌগগুলি তড়িৎ-কুপরিবাহী। অ্যালকিল হ্যালাইডগুলি জলে অদ্রাব্য। কারণ, এগুলি জলের অণুর সঙ্গে হাইড্রোজেন বন্ধনের মাধ্যমে যুক্ত হতে পারে না, তাই যৌগগুলির হ্যালোজেন পরমাণু আয়নিত হয় না।

● **রাসায়নিক ধর্ম ঃ** অ্যালকিন হ্যালাইডের রাসায়নিক সক্রিয়তার ক্রম হল—

অ্যালকিল আয়োডাইড > অ্যালকিল ব্রোমাইড > অ্যালকিল ক্লোরাইড

অ্যালকিল হ্যালাইডের প্রধান বিক্রিয়া হল দুটি—**(i) প্রতিস্থাপন বিক্রিয়া** এবং **(ii) অপনয়ন বিক্রিয়া।** প্রতিস্থাপন বিক্রিয়াগুলিকে একটি সাধারণ সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়।

(1) প্রতিস্থাপন বিক্রিয়া ঃ প্রতিস্থাপন বিক্রিয়াগুলিকে একটি সাধারণ সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়।

$$R — X + M — Z \longrightarrow R — Z + M — X, \quad (X = Cl, Br, I)$$

এখন $Z = OH, CN, NH_2, OR, NO_2, C{\equiv}CH, OCOR$ এবং SR হলে, উৎপন্ন জৈব যৌগগুলি যথাক্রমে—অ্যালকোহল, সায়ানাইড, অ্যামিন, ইথার, নাইট্রো-অ্যালকেন, অ্যালকাইন, এস্টার এবং থায়ল যৌগ উৎপন্ন হয়।

(i) অ্যালকোহল প্রস্তুতি ঃ অ্যালকিল হ্যালাইডের সঙ্গে **NaOH** বা **KOH**-এর জলীয় দ্রবণের বিক্রিয়ায় হ্যালোজেন পরমাণু OH গ্রুপ দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে **অ্যালকোহল উৎপন্ন করে।**

$$R-X + NaOH \longrightarrow R-OH + NaX$$

$$\underset{\text{ইথাইল ব্রোমাইড}}{CH_3CH_2Br} + NaOH \longrightarrow \underset{\text{ইথানল}}{CH_3CH_2OH} + NaBr$$

(ii) ইথার প্রস্তুতি ঃ প্রাইমারি অ্যালকিল হ্যালাইডের সঙ্গে **অ্যালকোহলে দ্রবীভূত সোডিয়াম অ্যালকোক্সাইডের** বিক্রিয়ায় **ইথার** উৎপন্ন হয়।

$$R-X + NaOR \longrightarrow R-OR + NaX$$

$$CH_3CH_2Br + \underset{\text{Na-ইথোক্সাইড}}{NaOC_2H_5} \longrightarrow \underset{\text{ডাই ইথাইল ইথার}}{CH_3CH_2-O-C_2H_5} + NaBr$$

এই বিক্রিয়ায় উচ্চতর অ্যালকোক্সাইড (3° অ্যালকিল গ্রুপ) ব্যবহৃত হলে অপনয়ন বিক্রিয়া ঘটে ফলে হাইড্রোজেন হ্যালাইড অপসারিত হয় এবং অ্যালকিন উৎপন্ন হয়।

(iii) অ্যামিন প্রস্তুতি ঃ বন্ধ নলে অ্যামোনিয়ার গাঢ় দ্রবণে অ্যালকিল হ্যালাইড উত্তপ্ত করলে **অ্যামিনের মিশ্রণ** উৎপন্ন হয়।

$$C_2H_5Br + NH_3 \longrightarrow \underset{\text{ইথাইল অ্যামিন}}{C_2H_5NH_2} + HBr; \quad C_2H_5Br + C_2H_5NH_2 \longrightarrow \underset{\text{ডাই ইথাইল অ্যামিন}}{(C_2H_5)_2NH} + HBr$$

$$C_2H_5Br + (C_2H_5)_2NH \longrightarrow \underset{\text{ট্রাই ইথাইল অ্যামিন}}{(C_2H_5)_3N} + HBr; \quad C_2H_5Br + (C_2H_5)_3N \longrightarrow \underset{\text{টেট্রা ইথাইল অ্যামোনিয়াম ব্রোমাইড}}{(C_2H_5)_4\overset{+}{N}\overset{-}{Br}}$$

(iv) অ্যালকিল সায়ানাইড বা নাইট্রাইল প্রস্তুতি ঃ অ্যালকিল হ্যালাইডের সঙ্গে **অ্যালকোহলীয় KCN**-এর বিক্রিয়ায় **সায়ানাইড যৌগ** উৎপন্ন হয়।

$$R-X + KCN \longrightarrow R-CN + KX$$

$$CH_3CH_2Br + KCN \longrightarrow \underset{\text{ইথাইল সায়ানাইড}}{CH_3CH_2CN} + KBr$$

জৈব যৌগে C-পরমাণুর সংখ্যা বৃদ্ধি করার জন্য এই বিক্রিয়াটি ব্যবহৃত হয়।

ইথানলীয় AgCN-এর সঙ্গে অ্যালকিল হ্যালাইডের বিক্রিয়ায় **অ্যালকিল আইসোসায়ানাইড** উৎপন্ন হয়।

$$RX + AgCN \longrightarrow RNC + AgX\downarrow$$

$$CH_3CH_2I + AgCN \xrightarrow{\text{ইথানল}} \underset{\text{ইথাইল আইসোসায়ানাইড}}{CH_3CH_2NC} + AgI\downarrow$$

(v) নাইট্রো অ্যালকেন প্রস্তুতি—অ্যালকিল হ্যালাইডের সঙ্গে ইথানলীয় $AgNO_2$ মিশিয়ে রিফ্লাক্স করলে নাইট্রো অ্যালকেন ও অ্যালকিল নাইট্রাইটের মিশ্রণ উৎপন্ন হয়—আংশিক পাতনে এদের পৃথক করা হয়।

$$R-X + AgNO_2 \longrightarrow \begin{cases} \underset{\text{নাইট্রো অ্যালকেন}}{R-NO_2} + AgX\downarrow \\ \underset{\text{অ্যালকিল নাইট্রাইট}}{R-ON=O} + AgX\downarrow \end{cases}$$

যেমন ঃ
$$CH_3CH_2I + AgNO_2 \longrightarrow \begin{cases} \underset{\text{নাইট্রো ইথেন}}{CH_3CH_2NO_2} + AgI\downarrow \\ \underset{\text{ইথাইল নাইট্রাইট}}{CH_3CH_2-O-N=O} + AgI\downarrow \end{cases}$$

(vi) উচ্চতর অ্যালকাইন প্রস্তুতি—অ্যালকিল হ্যালাইডের সঙ্গে **সোডিয়াম অ্যাসিটিলাইডের** বিক্রিয়ায় অ্যালকিল হ্যালাইডের হ্যালোজেন পরমাণু C≡CH গ্রুপ দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে **উচ্চতর অ্যালকাইনে পরিণত হয়**—

$$R-X + NaC\equiv CH \longrightarrow R-C\equiv CH + NaX$$

$$CH_3I + \underset{\text{সোডিয়াম অ্যাসিটিলাইড}}{NaC\equiv CH} \longrightarrow \underset{\text{প্রোপাইন}}{CH_3-C\equiv CH} + NaI$$

(vii) এস্টার প্রস্তুতি—অ্যালকিল হ্যালাইডের সঙ্গে **কার্বক্সিলিক অ্যাসিডের সিলভার লবণের বিক্রিয়ায়** হ্যালোজেন পরমাণু OCOR গ্রুপ দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে **এস্টার** উৎপন্ন করে।

$$R-X + R'COOAg \longrightarrow R'COOR + AgX$$

$$C_2H_5Br + CH_3-COOAg \longrightarrow \underset{\text{ইথাইল অ্যাসিটেট}}{CH_3COOC_2H_5} + AgBr$$

(viii) থায়ল (মারক্যাপটান) প্রস্তুতি ঃ অ্যালকিল হ্যালাইড ও সোডিয়াম হাইড্রোজেন সালফাইড (NaSH) বা পটাশিয়াম হাইড্রোজেন সালফাইডকে উত্তপ্ত করলে থায়ল (মারক্যাপটান) উৎপন্ন হয়।

$$R-X + NaSH \longrightarrow RSH + NaX$$

$$CH_3CH_2Br + NaSH \longrightarrow \underset{\text{ইথাইল ম্যারক্যাপটান}}{CH_3CH_2SH} + NaBr$$

(2) অপনয়ন বিক্রিয়া ঃ অ্যালকিল হ্যালাইডকে ইথানলীয় KOH সহ রিফ্লাক্স করলে অ্যালকিন উৎপন্ন হয়। এই অপনয়ন বিক্রিয়াটি ডিহাইড্রোহ্যালোজেনেশন (–HX) নামে পরিচিত।

$$\underset{\text{প্রোপাইল ব্রোমাইড}}{CH_3CH_2CH_2Br} + KOH \xrightarrow[\text{রিফ্লাক্স}]{\text{ইথানল}} \underset{\text{প্রোপিন}}{CH_3CH{=}CH_2} + KBr + H_2O$$

2-ব্রোমো বিউটেনের ক্ষেত্রে 1-বিউটিন এবং **2-বিউটিন** উৎপন্ন হতে পারে তবে সেট্‌জেফের নিয়ম অনুসারে 2-বিউটিন বেশি উৎপন্ন হয়।

$$CH_3CH_2.CHBrCH_3 \xrightarrow[\text{অ্যালকোহল}]{KOH} \begin{cases} \longrightarrow \underset{\text{2-বিউটিন (প্রধান)}}{CH_3CH{=}CHCH_3} \\ \longrightarrow \underset{\text{1-বিউটিন}}{CH_3CH_2CH{=}CH_2} \end{cases}$$

● **কোয়াটারনারি অ্যামোনিয়াম হাইড্রক্সাইড (অ্যামোনিয়াম হাইড্রোক্সাইডের টেট্রাঅ্যালকিল জাতক;** $[R_4\overset{+}{N}]\overset{-}{O}H$) যৌগকে উত্তপ্ত করলে অপনয়ন বিক্রিয়া ঘটে অ্যালকিন উৎপন্ন হয়। এক্ষেত্রে দুটি অ্যালকিন উৎপন্ন হওয়ার সম্ভাবনা থাকলে হফম্যান নিয়ম অনুসারে দ্বি-বন্ধনে সবচেয়ে কম অ্যালকিল প্রতিস্থাপকযুক্ত অ্যালকিনটি (সেটজেফ নিয়মের বিপরীত অ্যালকিন) প্রধান বিক্রিয়াজাত রূপে উৎপন্ন হবে।

যেমন ঃ **N.N.N—ট্রাই মিথাইল সেকেন্ডারি বিউটাইল অ্যামোনিয়াম আয়োডাইডকে** Ag_2O সহ উত্তপ্ত করলে অপনয়ন বিক্রিয়া ঘটে এবং 1-বিউটিন প্রধান বিক্রিয়াজাত পদার্থ রূপে উৎপন্ন হয়।

$$\underset{\overset{+}{N}(Me)_3\overset{-}{I}}{CH_3CH_2CHCH_3} \xrightarrow[H_2O]{Ag_2O} \underset{\overset{+}{N}(Me)_3\overset{-}{O}H}{CH_3CH_2CHCH_3}$$

N.N.N-ট্রাই মিথাইল সেক বিউটাইল অ্যামোনিয়াম হাইড্রক্সাইড

$$\downarrow 150^oC \text{ তাপ}$$

$$\underset{\text{1-বিউটিন (প্রধান)}}{CH_3CH_2CH{=}CH_2} + \underset{\text{2-বিউটিন}}{CH_3CH{=}CHCH_3} + (Me)_3N + H_2O$$

● **সেটজেফের নিয়ম ঃ** অ্যালকিল হ্যালাইডের অপনয়ন (ডিহাইড্রোহ্যালোজেনেশন) বিক্রিয়ায় যে অ্যালকিনটির দ্বি-বন্ধনের সাথে সব থেকে বেশি সংখ্যক অ্যালকিল গ্রুপ যুক্ত থাকে সেই অ্যালকিনটি প্রধান বিক্রিয়াজাত পদার্থ রূপে উৎপন্ন হবে।

● **হফম্যান নিয়ম ঃ** কোয়াটারনারি অ্যামোনিয়াম যৌগের অপনয়ন বিক্রিয়ায় যে অ্যালকিনটির দ্বি-বন্ধনের সাথে সব থেকে কম সংখ্যক অ্যালকিল গ্রুপ যুক্ত থাকে সেই অ্যালকিনটি প্রধান বিক্রিয়াজাত পদার্থ রূপে উৎপন্ন হবে (হফম্যান বিক্রিয়াজাত)।

(3) বিজারণ ঃ অ্যালকিল হ্যালাইডকে Zn/CH_3COOH বা Na/EtOH অথবা Sn/HCl দ্বারা বিজারিত করলে অ্যালকেন উৎপন্ন হয়। প্রাইমারি অ্যালকিল হ্যালাইড $LiAlH_4$ দ্বারা বিজারিত হয়। অ্যালকিল হ্যালাইডকে Ni বা Pd ধাতুর উপস্থিতিতে H_2 দ্বারা বিজারিত করা যায়।

$$R-X \xrightarrow{Zn/H^+} R-H + HX$$

$$CH_3CH_2-Br \xrightarrow{LiAlH_4} CH_3CH_3 + HBr$$

$$CH_3-CH_2-Br \xrightarrow{H_2/Ni} CH_3-CH_3 + HBr$$

(4) ভার্জের বিক্রিয়া ঃ অ্যালকিল হ্যালাইডকে ইথারে দ্রবীভূত করে ধাতব সোডিয়ামের সঙ্গো বিক্রিয়া করালে হাইড্রোকার্বন উৎপন্ন হয়।

$$R - \boxed{X + 2Na + X} - R \xrightarrow{\text{ইথার}} R{-}R + 2NaX$$

$$CH_3CH_2\text{-}I + 2Na + ICH_2CH_3 \xrightarrow{\text{ইথার}} \underset{\text{বিউটেন}}{CH_3CH_2CH_2CH_3} + 2NaI$$

(5) ম্যাগনেশিয়ামের সঙ্গো ঃ শুষ্ক ম্যাগনেশিয়াম ধাতু চূর্ণের সঙ্গো শুষ্ক ইথারে দ্রবীভূত অ্যালকিল হ্যালাইডের বিক্রিয়ায় **জৈব ধাতব যৌগ** (Organo metallic compound)—**গ্রিগনার্ড বিকারক** (Grignard's Reagent) উৎপন্ন হয়।

$$R{-}X + Mg \xrightarrow{\text{ইথার}} \underset{\text{গ্রিগনার্ড বিকারক}}{R{-}Mg{-}X} \qquad [X = Cl, Br, I]$$

যেমন, ইথারে দ্রবীভূত ইথাইল ব্রোমাইডের সঙ্গো Mg চূর্ণের বিক্রিয়ায় ইথাইল ম্যাগনেশিয়াম ব্রোমাইড উৎপন্ন হয়। এটি একটি গ্রিগনার্ড বিকারক।

$$C_2H_5Br + Mg \xrightarrow{\text{ইথার}} \underset{\text{ইথাইল ম্যাগনেশিয়াম ব্রোমাইড}}{C_2H_5MgBr}$$

R—Mg—X জাতীয় জৈব ধাতব যৌগগুলিকে গ্রিগনার্ড বিকারক (Grignard reagent) বলে।

(6) ফ্রিডাল ক্রাফট্ বিক্রিয়া (Friedel Craft's reaction) ঃ শুষ্ক $AlCl_3$-এর উপস্থিতিতে অ্যালকিল হ্যালাইডের সঙ্গো বেনজিনের বিক্রিয়ায় বেনজিনের H পরমাণু অ্যালকিল মূলক দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে **বেনজিন সঞ্জাত যৌগ** উৎপন্ন হয়।

যেমন, শুষ্ক $AlCl_3$-এর উপস্থিতিতে মিথাইল আয়োডাইডের সঙ্গো বেনজিনের বিক্রিয়ায় **টলুইন** উৎপন্ন হয়।

$$CH_3Cl + \underset{\text{বেনজিন}}{C_6H_6} \xrightarrow{AlCl_3} \underset{\text{টলুইন}}{C_6H_5CH_3} + HCl$$

(7) অতিরিক্ত চাপে সোডিয়াম এবং লেড ধাতু সংকরের সঙ্গো **ইথাইল ক্লোরাইড** উত্তপ্ত করলে **টেট্রা-ইথাইল** লেড উৎপন্ন হয়। এই যৌগটি মোটর ইঞ্জিনের ঝাঁকুনী রোধে (anti knocking compound) ব্যবহৃত হয়।

$$4C_2H_5Cl + 4(Na + Pb) \longrightarrow Pb(C_2H_5)_4 + 4NaCl + 3Pb$$

(8) অ্যালকিল আয়োডাইড, ডাই মিথাইল সালফক্সাইড (DMSO) দ্বারা জারিত হয়ে অ্যালডিহাইড এবং কিটোন উৎপন্ন করে।

$$CH_3CH_2I + CH_3{-}\underset{\underset{CH_3}{|}}{S} = O \rightarrow I^- + CH_3{-}\underset{\underset{H}{|}}{CH}{-}O{-}\underset{\underset{CH_3}{|}}{\overset{+}{S}}{-}CH_3 \rightarrow CH_3CHO + HI + (CH_3)_2S$$

4.4. হ্যালোফর্ম বিক্রিয়া [Haloform Reaction]

যে সব জৈব যৌগে কার্বন বা হাইড্রোজেনের পরমাণুর সঙ্গো কিটো মিথাইল CH_3CO গ্রুপ যুক্ত থাকে অথবা যে সব জৈব যৌগ, হ্যালোজেন এবং উপযুক্ত ক্ষারের বিক্রিয়ায় এই রকম CH_3CO গ্রুপ বিশিষ্ট যৌগে পরিণত হয়, সেই সব জৈব যৌগ **ক্ষারের উপস্থিতিতে হ্যালোজেনের সঙ্গো বিক্রিয়া করে হ্যালোফর্ম [ক্লোরোফর্ম ($CHCl_3$), ব্রোমোফর্ম ($CHBr_3$), আয়োডোফর্ম (CHI_3)] উৎপন্ন করে। এই বিক্রিয়াকে হ্যালোফর্ম বিক্রিয়া বলে।** ক্ষার হিসাবে NaOH, KOH, Na_2CO_3, $Ca(OH)_2$-এর জলীয় দ্রবণ ব্যবহৃত হয়। অ্যাসিটোনের আয়োডোফর্ম বিক্রিয়ায় অ্যামোনিয়ার জলীয় দ্রবণ NH_4OHও ব্যবহার করা যায়।

অ্যাসিট্যালডিহাইড (CH_3CHO), অ্যাসিটোন (CH_3COCH_3) প্রভৃতি কিটো-মিথাইল গ্রুপ ($CH_3{-}\underset{|}{C}{=}O$) বিশিষ্ট যৌগ হ্যালোফর্ম বিক্রিয়ায় অংশ নেয়। ইথাইল অ্যালকোহলকে জারিত করে অ্যাসিট্যালডিহাইডে পরিণত করে এই বিক্রিয়া ঘটানো হয়। বিক্রিয়াগুলি দুটি ধাপে ঘটে।

(i) প্রথম ধাপে মিথাইল মূলকের সঙ্গো হ্যালোজেন যুক্ত হয়ে **ট্রাই-হ্যালো কার্বনিল** যৌগ উৎপন্ন করে।

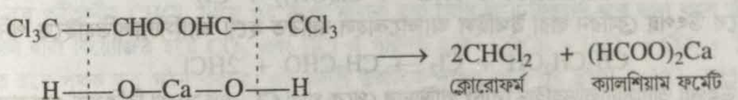
(ii) দ্বিতীয় ধাপে ট্রাই-হ্যালো কার্বনিল যৌগ **ক্ষারের সঙ্গো বিক্রিয়া করে** বিয়োজিত হয়ে **হ্যালোফর্ম** উৎপন্ন করে।

যেমন, **(a)** ক্ষারের উপস্থিতিতে **ইথাইল অ্যালকোহল,** ব্লিচিং পাউডার থেকে উৎপন্ন Cl_2 দ্বারা জারিত হয়ে **অ্যাসিট্যালডিহাইডে পরিণত হয়। এই অ্যাসিট্যালডিহাইড** Cl_2-এর সঙ্গো বিক্রিয়া করে ট্রাই হ্যালো-কার্বনিল যৌগ অর্থাৎ

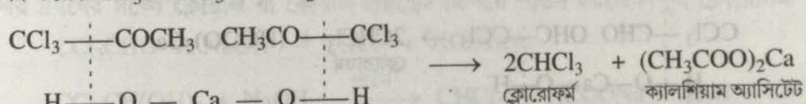
ট্রাইক্লোরো অ্যাসিট্যালডিহাইড বা ক্লোরাল উৎপন্ন করে। উৎপন্ন ক্লোরাল ব্লিচিং পাউডার থেকে উৎপন্ন $Ca(OH)_2$ ক্ষারের সঙ্গে বিক্রিয়া করে ক্লোরোফর্ম উৎপন্ন করে।

$$C_2H_5OH + Cl_2 \rightarrow CH_3CHO + 2HCl$$

$$CH_3CHO + 3Cl_2 \rightarrow \underset{\text{ক্লোরাল}}{CCl_3CHO} + 3HCl$$



(b) অ্যাসিটোনের সঙ্গে ব্লিচিং পাউডারের বিক্রিয়ায়, অ্যাসিটোন প্রথমে ব্লিচিং পাউডার থেকে প্রাপ্ত Cl_2 দ্বারা জারিত হয়ে ট্রাই-ক্লোরো অ্যাসিটোন উৎপন্ন করে। ট্রাই-ক্লোরো অ্যাসিটোন, $Ca(OH)_2$ দ্বারা (ব্লিচিং পাউডার থেকে পাওয়া) আর্দ্রবিশ্লিষ্ট হয়ে **ক্লোরোফর্ম** উৎপন্ন করে। $CH_3COCH_3 + 3Cl_2 \rightarrow CCl_3—CO—CH_3 + 3HCl$



● **কী কী যৌগ হ্যালোফর্ম বিক্রিয়ায় সাড়া দেয়?**

যে সমস্ত যৌগের গঠন সংকেত নীচের মতো সেই সব যৌগ হ্যালোফর্ম বিক্রিয়ায় সাড়া দেয়—

(1) $CH_3—\overset{H}{\underset{OH}{C}}—R$

(i) R-এর পরিবর্তে H হলে যৌগটি CH_3CH_2OH অর্থাৎ ইথানল হয় যা Cl_2, Br_2 বা I_2 দ্বারা জারিত হয়ে $CH_3—\underset{|}{C}=O$ গ্রুপ যুক্ত যৌগে পরিণত হয়। সুতরাং ইথানল হ্যালোফর্ম বিক্রিয়ায় সাড়া দেবে। **প্রাইমারি অ্যালকোহলগুলির মধ্যে একমাত্র ইথানলই এই বিক্রিয়ায় সাড়া দেয়।**

$CH_3—\overset{H}{\underset{OH}{C}}—CH_3$

(ii) R = অ্যালকিল গ্রুপ হলে আইসোপ্রোপাইল অ্যালকোহল (2-প্রোপানল) হয়। যেমন, আইসোপ্রোপাইল অ্যালকোহল **হ্যালোফর্ম বিক্রিয়ায় সাড়া দেয়। $CH_3CH(OH)$ গ্রুপযুক্ত সব সেকেন্ডারি অ্যালকোহল হ্যালোফর্ম বিক্রিয়ায় সাড়া দেয়।** যেমন 2-বিউটানল $CH_3CH(OH)CH_2CH_3$। কারণ যৌগটি Cl, Br_2 এবং I_2 দ্বারা জারিত হয়ে কিটো মিথাইল গ্রুপ যুক্ত যৌগে পরিণত হয়।

আবার R = অ্যারিল গ্রুপ (C_6H_5) যুক্ত যেকোনো অ্যালকোহল যেমন, $C_6H_5CH(OH)CH_3$ এই বিক্রিয়ায় সাড়া দেয়।

$CH_3CH(OH)$—গ্রুপ যুক্ত যে কোনো অ্যালিফাটিক সেকেন্ডারি অ্যালকোহল এই বিক্রিয়ায় সাড়া দেয়।

(2) নীচের যৌগটিতে R-এর পরিবর্তে H হলে যৌগটি CH_3CHO (অ্যাসিট্যালডিহাইড) হয়। **অ্যাসিট্যালডিহাইড একমাত্র অ্যালডিহাইড যেটি হ্যালোফর্ম বিক্রিয়ায় সাড়া দেয়।**

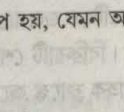
$$CH_3—\underset{R}{C}=O \longrightarrow CH_3—\underset{H}{C}=O$$

আবার $CH_3—\underset{R}{C}=O$ যৌগে যদি $R=CH_3$ বা অন্য কোনো আলকিল গ্রুপ হয়, যেমন অ্যাসিটোন $CH_3—CO—CH_3$, এই বিক্রিয়ায় সাড়া দেয়।

$[CH_3CO—]$ গ্রুপ যুক্ত সব কিটোনই হ্যালোফর্ম বিক্রিয়ায় সাড়া দেয়। যেমন—

$CH_3—\underset{C_2H_5}{C}=O,$
মিথাইল ইথাইল কিটোন

$CH_3—\underset{C_3H_7}{C}=O,$
মিথাইল প্রোপাইল কিটোন


অ্যাসিটোফেনোন

[কার্বন পরমাণুর সঙ্গে কিটো মিথাইল গ্রুপ থাকলেও সবক্ষেত্রে হ্যালোফর্ম বিক্রিয়া করে না—যেমন, ইথাইল অ্যাসিটো অ্যাসিটেটের ($CH_3COCH_2COOC_2H_5$) মধ্যে $[CH_3CO]$ গ্রুপ থাকলেও হ্যালোফর্ম বিক্রিয়ায় সাড়া দেয় না।]

4.5. ক্লোরোফর্মের পরীক্ষাগার প্রস্তুতি [Laboratory method of preparation of Chloroform]

(1) ইথাইল অ্যালকোহল এবং ব্লিচিং পাউডারের বিক্রিয়া দ্বারা ক্লোরোফর্ম প্রস্তুতি ঃ

(A) নীতি ঃ পরীক্ষাগারে **ইথাইল অ্যালকোহল** এবং **ব্লিচিং পাউডারের** মিশ্রণকে পাতিত করে **ক্লোরোফর্ম** তৈরি করা হয়।

(i) ব্লিচিং পাউডার থেকে প্রথমে **ক্লোরিন** এবং **ক্যালশিয়াম হাইড্রক্সাইড** পাওয়া যায়।

$$Ca(OCl)Cl + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + Cl_2$$

(ii) জারণ ঃ এইভাবে উৎপন্ন ক্লোরিন দ্বারা **ইথাইল অ্যালকোহল জারিত হয়ে অ্যাসিট্যালডিহাইডে** পরিণত হয়।

$$CH_3CH_2OH + Cl_2 \rightarrow CH_3CHO + 2HCl$$

(iii) ক্লোরিনেশন ঃ উৎপন্ন অ্যাসিট্যালডিহাইড **ব্লিচিং পাউডার** থেকে প্রাপ্ত Cl_2-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় **ক্লোরাল** বা **ট্রাইক্লোরো অ্যাসিট্যালডিহাইড** উৎপন্ন করে। $CH_3CHO \xrightarrow{3Cl_2} CCl_3CHO + 3HCl$

(iv) ট্রাইক্লোরো অ্যাসিট্যালডিহাইড $Ca(OH)_2$-এর দ্বারা আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়ে **ক্লোরোফর্ম** এবং **ক্যালশিয়াম ফর্মেট** উৎপন্ন করে।

$$\begin{array}{l} CCl_3 \,\vdots\!-\!CHO \;\; OHC\!-\!\vdots\, CCl_3 \rightarrow \underset{\text{ক্লোরোফর্ম}}{2CHCl_3} + (HCOO)_2Ca \\ \;\;\; H \,\vdots\!-\!O\!-\!Ca\!-\!O\!-\!\vdots\, H \end{array}$$

অর্থাৎ $2CCl_3CHO + Ca(OH)_2 \rightarrow 2CHCl_3 + (HCOO)_2Ca$

(2) অ্যাসিটোন এবং ব্লিচিং পাউডারের বিক্রিয়া দ্বারা ক্লোরাফর্ম প্রস্তুতি ঃ

(i) ক্লোরিনেশন ঃ ব্লিচিং পাউডারের সঙ্গে অ্যাসিটোনের বিক্রিয়ায় ব্লিচিং পাউডার থেকে প্রাপ্ত ক্লোরিন দ্বারা অ্যাসিটোনের ক্লোরিনেশনের ফলে প্রথমে **ট্রাইক্লোরো অ্যাসিটোন** উৎপন্ন হয়।

$$CH_3COCH_3 \xrightarrow{3Cl_2} CCl_3COCH_3 + 3HCl$$

(ii) আর্দ্র বিশ্লেষণ ঃ এইভাবে উৎপন্ন ট্রাইক্লোরো অ্যাসিটোন ব্লিচিং পাউডার থেকে প্রাপ্ত $Ca(OH)_2$ দ্বারা আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়ে ক্লোরোফর্ম এবং ক্যালশিয়াম অ্যাসিটেট উৎপন্ন করে।

$$\begin{array}{l} Cl_3C \,\vdots\!-\!COCH_3 + CH_3CO\!-\!\vdots\, CCl_3 \rightarrow \underset{\text{ক্লোরোফর্ম}}{2CHCl_3} + (CH_3COO)_2Ca \\ \;\; H \,\vdots\!-\!O\!-\!Ca\!-\!O\!-\!\vdots\, H \end{array}$$

(B) পদ্ধতি ঃ ব্লিচিং পাউডারের সঙ্গে জল মিশিয়ে লেইয়ের মতো তৈরি করে একটি বড়ো গোলতল ফ্লাস্কের মধ্যে রেখে ফ্লাস্কটির মুখে একটি রিফ্লাস্ক শীতক খাড়াভাবে যোগ করা হয়। এইবার শীতকের মধ্য দিয়ে ফ্লাস্কটির মধ্যে পরিমাণ মতো **ইথাইল অ্যালকোহল** অথবা **অ্যাসিটোন** ধীরে ধীরে যোগ করা হয় এবং সঙ্গে সঙ্গে ঝাঁকানো হয়। সমস্ত অ্যালকোহল বা অ্যাসিটোন যোগ করার পর ফ্লাস্কের মুখে লাগান রিফ্লাস্ক শীতকটিকে সরিয়ে ফ্লাস্কের নির্গম নলের প্রান্তটির সঙ্গে একটি লিবিগ কন্ডেনসার যুক্ত করা হয়। কন্ডেনসারের শেষ প্রান্তটি আংশিক জলপূর্ণ একটি গ্রাহক ফ্লাস্কের মধ্যে প্রবেশ করানো থাকে (ক্লোরোফর্ম জলের চেয়ে ভারী এবং উদ্‌বায়ী)। গোলতল ফ্লাস্কটিকে দন্ডের সঙ্গে আটকে একটি জলগাহের উপর রাখা হয়। কনডেনসারের মধ্য দিয়ে ঠান্ডা জলের প্রবাহ করা হয় এবং ফ্লাস্কটিকে জলগাহে রেখে বার্নার দিয়ে উত্তপ্ত করা হয়। বিক্রিয়া হতে শুরু করলে বার্নার সরিয়ে বিক্রিয়াটিকে সম্পূর্ণ হতে দেওয়া হয়। বিক্রিয়াটি শেষ হলে, ফ্লাস্কের অবশেষটিকে অল্প তাপে উত্তপ্ত করলে ক্লোরোফর্ম পাতিত হয়ে ভারী এবং অদ্রাব্য তরলরূপে গ্রাহক ফ্লাস্কে জলের তলায় জমা হয়।

(C) বিশুদ্ধিকরণ ঃ এইভাবে উৎপন্ন ক্লোরাফর্ম সামান্য জল, ক্লোরিন, **অ্যালকোহল** বা অ্যাসিটোন এবং HCl অশুদ্ধিরূপে বর্তমান থাকে। গ্রাহক ফ্লাস্কের নীচে থাকা ভারী ক্লোরোফর্মকে একটি বিয়োজী ফানেলের মধ্যে নিয়ে প্রথমে 2% **কস্টিক সোডা** দ্রবণ দিয়ে কয়েকবার ধোয়া হয়। এর ফলে ক্লোরোফর্ম থেকে আলকোহল, Cl_2 এবং HCl দূর হয়। পরে প্রাপ্ত ক্লোরোফর্মকে জল দিয়ে কয়েকবার ভালো করে ধৌত করলে ক্লোরোফর্ম ক্ষারমুক্ত হয় এবং যদি অ্যালকোহল বা অ্যাসিটোন থেকে যায় তাও দূর হয়। বিয়োজী ফানেলের সাহায্যে ক্লোরোফর্মকে পৃথক করে অনার্দ্র $CaCl_2$ মিশিয়ে শুষ্ক করা হয়। তারপর জলগাহের উপর 60°C—62°C উষ্ণতায় পাতিত করলে বিশুদ্ধ $CHCl_3$ পাওয়া যায়।

$CHCl_3$-কে K_2CO_3 দিয়ে শুষ্ক করা যায় **কিন্তু ধাতব Na দিয়ে শুষ্ক করা যায় না, কারণ বিস্ফোরণ ঘটে।**

● **ক্লোরোফর্মের বিশুদ্ধতা কীভাবে পরীক্ষা করবে? অথবা ক্লোরোফর্মে ফসজিনের উপস্থিতি কীভাবে জানা যায়?**

বিশুদ্ধ ক্লোরোফর্ম আলোক এবং বায়ুর O_2-এর উপস্থিতিতে ধীরে ধীরে জারিত হয়ে **বিষাক্ত কার্বনিল ক্লোরাইড বা ফসজিন** উৎপন্ন করে।

$$2CHCl_3 + O_2 \xrightarrow{\text{আলোক}} 2COCl_2 + 2HCl$$

একটি ক্লোরোফর্মের নমুনা বিশুদ্ধ আছে না কিছুটা জারিত হয়ে ফসজিন উৎপন্ন করেছে, নীচের পরীক্ষায় জানা যায়।

একটি টেস্টটিউবে পরীক্ষনীয় $CHCl_3$ নিয়ে ওর সঙ্গে সামান্য জল যোগ করে কিছুক্ষণ ধরে ভাল করে ঝাঁকানো হল। নমুনাটিতে ফসজিন থাকলে জল দ্বারা বিয়োজিত হয়ে CO_2 এবং HCl-এ পরিণত হবে। $COCl_2 + H_2O \rightarrow CO_2 + 2HCl$. এইভাবে উৎপন্ন HCl জলে দ্রবীভূত হয়ে পৃথক স্তর গঠন করবে। এই জলীয় স্তরটিকে সংগ্রহ করে ওর সঙ্গে $AgNO_3$ দ্রবণ যোগ করলে যদি সাদা অধঃক্ষেপ পড়ে যা HNO_3-তে অদ্রাব্য কিন্তু অতিরিক্ত NH_4OH-এ দ্রাব্য, তাহলে বুঝতে হবে ক্লোরোফমর্টি বিশুদ্ধ নয়—ওতে ফসজিন উপস্থিত।

● **ক্লোরোফর্ম প্রস্তুতির অন্যান্য পদ্ধতি : (1) ক্লোরাল বা ক্লোরাল হাইড্রেট থেকে বিশুদ্ধ ক্লোরোফর্ম : গাঢ় কস্টিক সোডা বা কস্টিক পটাশের দ্রবণের সঙ্গে ক্লোরাল বা ক্লোরাল হাইড্রেট** মিশিয়ে পাতন করলে বিশুদ্ধ ক্লোরোফর্ম পাওয়া যায়।

$$CCl_3CHO + NaOH \rightarrow CHCl_3 + HCOONa$$

$$\underset{\text{ক্লোরাল হাইড্রেট}}{CCl_3CH(OH)_2} + NaOH \xrightarrow{\text{পাতন}} CHCl_3 + HCOONa + H_2O$$

(2) মিথেনের ক্লোরিনেশন দ্বারা : বিক্ষিপ্ত সূর্যালোকে মিথেনের সঙ্গে নিয়ন্ত্রিত পরিমাণ ক্লোরিনের প্রতিস্থাপন বিক্রিয়ায় ক্লোরোফর্ম উৎপন্ন হয়। মিশ্রণ থেকে আংশিক পাতন করে ক্লোরোফর্ম পৃথক করা হয়।

$$\underset{\text{মিথেন}}{CH_4} \xrightarrow[h\nu]{Cl_2} \underset{\text{মিথাইল ক্লোরাইড}}{CH_3Cl} \xrightarrow{Cl_2} \underset{\text{মিথিলিন ক্লোরাইড}}{CH_2Cl_2} \xrightarrow{Cl_2} \underset{\text{ক্লোরোফর্ম}}{CHCl_3}$$

(3) শিল্পপ্রস্তুতি—কার্বন ডাইসালফাইড থেকে ক্লোরোফর্ম : $AlCl_3$-এর উপস্থিতিতে কার্বন ডাইসালফাইডের সঙ্গে Cl_2-এর বিক্রিয়ায় **কার্বন টেট্রাক্লোরাইড ও সালফার মনোক্লোরাইড** উৎপন্ন হয়। **উৎপন্ন সালফার মনোক্লোরাইডকে আংশিক পাতন দ্বারা দূর করা হয়।**

$$CS_2 + 3Cl_2 \xrightarrow{AlCl_3} CCl_4 + S_2Cl_2$$

এইবার **স্বল্প পরিমাণ** HCl-এর উপস্থিতিতে **কার্বন টেট্রা-ক্লোরাইডকে স্টিম এবং আয়রন চূর্ণের** সঙ্গে মিশিয়ে অনেকক্ষণ ঝাঁকালে CCl_4 আংশিক বিজারিত হয়ে ক্লোরোফর্ম উৎপন্ন করে। বর্তমানে এই পদ্ধতি হল ক্লোরোফর্মের আধুনিক শিল্প পদ্ধতি।

$$2CCl_4 + 2H_2O + Fe \longrightarrow 2CHCl_3 + FeCl_2 + Fe(OH)_2$$

4.6. ক্লোরোফর্মের ধর্ম [Properties of Chloroform]

(A) ভৌত ধর্ম : ক্লোরোফর্ম ভারী, অদাহ্য, বর্ণহীন, মিষ্ট গন্ধযুক্ত তরল পদার্থ। জলে অদ্রাব্য কিন্তু ইথাইল অ্যালকোহল ও ইথারে সহজেই দ্রবীভূত হয়। ক্লোরোফর্মের স্ফুটনাঙ্ক 61°C। এর বাষ্প নিঃশ্বাসের সঙ্গে নিলে কিছুক্ষণের জন্য মানুষ সংজ্ঞাহীন হয়ে পড়ে।

(B) রাসায়নিক ধর্ম :

(1) বায়ু বা O_2-এর সঙ্গে : আলোর উপস্থিতিতে, ক্লোরোফর্ম বায়ুর অক্সিজেনের সঙ্গে বিক্রিয়া করে বিষাক্ত কার্বনিল ক্লোরাইড বা ফসফিন (Phosgene) **গ্যাস উৎপন্ন করে। এই জন্য ক্লোরোফর্মকে বাদামী বা নীল রং-এর বোতলে পুরো ভর্তি করে রাখা হয়।** ক্লোরোফর্মের সঙ্গে সামান্য পরিমাণ **(10%) ইথাইল অ্যালকোহল মেশালে এই জারণ প্রক্রিয়া রোধ করা যায়।** এখানে ইথাইল অ্যালকোহল বাধক বা নেগেটিভ অনুঘটকরূপে কাজ করে বলে মনে করা হয়।

$$2CHCl_3 + O_2 \rightarrow \underset{\text{ফসজিন}}{2COCl_2} + HCl$$

[অ্যাসিটোন থেকে উৎপন্ন ক্লোরোফর্ম চেতনা নাশকরূপে ব্যবহার করা যায় না, কারণ এর মধ্যে বিষাক্ত মনোক্লোরো এবং ডাইক্লোরো অ্যাসিটোন অশুদ্ধিরূপে বর্তমান থাকে।]

(2) ক্ষার দ্রবণের সাহায্যে আর্দ্র-বিশ্লেষণ ঃ ক্ষারের গাঢ় জলীয় দ্রবণ অথবা অ্যালকোহলীয় দ্রবণের সঙ্গো উত্তপ্ত করলে ক্লোরোফর্ম আর্দ্র-বিশ্লেষিত হয় এবং **ফর্মিক অ্যাসিড** উৎপন্ন করে।

$$CHCl_3 + 2NaOH \longrightarrow \underset{\text{অর্থোফর্মিক অ্যাসিড (অস্থায়ী)}}{HC(OH)_3} \longrightarrow \underset{\text{ফর্মিক অ্যাসিড}}{HCOOH} + H_2O$$

(3) কার্বিল-অ্যামিন বিক্রিয়া ঃ প্রাইমারি অ্যামিন (অ্যালিফ্যাটিক বা অ্যারোমেটিক) এবং অ্যালকোহলীয় KOH-এর সঙ্গো ক্লোরোফর্ম মিশিয়ে সামান্য উত্তপ্ত করলে তীব্র দুর্গন্ধ বিশিষ্ট বিষাক্ত **কার্বিল অ্যামিন বা আইসোসায়ানাইড** যৌগ (R-NC যেখানে R = অ্যালকিল বা অ্যারাইল মূলক) উৎপন্ন হয়।

$$CHCl_3 + 3KOH + \underset{\text{মিথাইল অ্যামিন}}{CH_3NH_2} \rightarrow \underset{\text{মিথাইল আইসো সায়ানাইড}}{CH_3NC} + 3KCl + 3H_2O$$

ক্লোরোফর্মকে **অ্যানিলিন ও অ্যালকোহলীয় কস্টিক পটাশ** দ্রবণের সঙ্গো সামান্য উত্তপ্ত করলেই তীব্রগন্ধযুক্ত বিষাক্ত **ফিনাইল আইসো সায়ানাইড** উৎপন্ন হয়। এই বিক্রিয়ার দ্বারা প্রাইমারি অ্যামিন এবং ক্লোরোফর্মকে শনাক্ত করা যায়।

$$CHCl_3 + 3KOH + C_6H_5NH_2 \rightarrow \underset{\text{ফিনাইল আইসো-সায়ানাইড}}{C_6H_5—NC} + 3KCl + 3H_2O$$

(4) বিজারণ ঃ জিঙ্ক ও হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় উৎপন্ন জায়মান H দ্বারা ক্লোরোফর্ম বিজারিত হয় এবং **মিথিলিন ক্লোরাইড** উৎপন্ন হয়।

$$CHCl_3 + 2H \xrightarrow{Zn/HCl} CH_2Cl_2 + HCl$$

কিন্তু জিঙ্ক চূর্ণ ও স্টিম দ্বারা বিজারিত করলে **মিথেন** উৎপন্ন হয়।

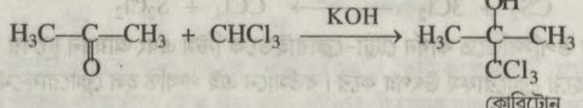
(5) সিলভার চূর্ণের সঙ্গো ক্লোরোফর্ম উত্তপ্ত করলে **অ্যাসিটিলিন** উৎপন্ন হয়।

$$CH\ \boxed{Cl_3 + 6Ag + Cl_3}\ CH \longrightarrow HC{\equiv}CH + 6AgCl$$

(6) ক্লোরোফর্ম ও গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিড **নাইট্রো-ক্লোরোফর্ম** বা **ক্লোরোপিকরিন** উৎপন্ন করে। এই ভারী তরল পদার্থটি পোকামাকড় ধ্বংসের জন্য, কাঁদুনে গ্যাস (Tear gas) হিসাবে ব্যবহৃত হয়।

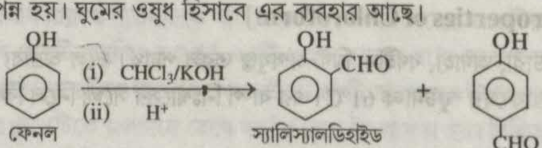
$$CHCl_3 + HO—NO_2 \rightarrow CCl_3NO_2 + H_2O$$

(7) KOH-এর উপস্থিতিতে ক্লোরোফর্ম ও অ্যাসিটোন পরস্পর সংযুক্ত হয়ে **ক্লোরিটোন** গঠন করে।



ক্লোরিটোন

(8) ফেনলের সঙ্গো বিক্রিয়া (রাইমার টিম্যান বিক্রিয়া) ঃ KOH-এর উপস্থিতিতে ক্লোরোফর্মের সঙ্গো ফেনলের বিক্রিয়া ঘটে **স্যালিস্যালডিহাইড** উৎপন্ন হয়। ঘুমের ওষুধ হিসাবে এর ব্যবহার আছে।



● **ক্লোরোফর্মের ব্যবহার ঃ (i)** চেতনানাশক ওষুধ হিসাবে ক্লোরোফর্ম সর্বদা ব্যবহৃত হয়। **(ii)** তেল, চর্বি, মোম, রবার, রেজিন (Resin) ইত্যাদি নিষ্কাশনের জন্য জৈব দ্রাবক হিসাবে এর ব্যবহার অনেক **(iii)** ওষুধরূপেও এর প্রচুর ব্যবহার আছে। **(iv)** জীববিজ্ঞানের নমুনা সংরক্ষণে ক্লোরোফর্ম ব্যবহার করা হয়। **(v)** প্রাইমারি অ্যামিন যৌগের শনাক্তকরণে ক্লোরোফর্ম ব্যবহৃত হয়। **(vi)** জৈব পদার্থের জারণ নিবারণে এর ব্যবহার আছে।

● **ক্লোরোফর্মে ক্লোরিন আছে—প্রমাণ ঃ** একটি টেস্টটিউবে সামান্য ক্লোরোফর্ম নিয়ে ওর সঙ্গো অ্যালকোহলে দ্রবীভূত NaOH দ্রবণ যোগ করে ফুটান হল। এর ফলে ক্লোরোফর্ম আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়ে NaCl এবং সোডিয়াম ফর্মেট উৎপন্ন করে। $CHCl_3 + 4NaOH \rightarrow 3NaCl + HCOONa + 2H_2O$। উৎপন্ন দ্রবণে HNO_3 যোগ করে অম্লায়িত করে $AgNO_3$ দ্রবণ যোগ করলে AgCl-এর সাদা অধঃক্ষেপ পড়ে যা HNO_3-তে অদ্রাব্য কিন্তু অতিরিক্ত NH_4OH-এ দ্রাব্য। এর দ্বারা ক্লোরোফর্মে ক্লোরিনের উপস্থিতি প্রমাণিত হয়।

● ক্লোরোফর্মের শনাক্তকরণ ঃ

(1) একটি টেস্টটিউবের মধ্যে 2—3 ফোঁটা ক্লোরোফর্ম এবং 2—3 ফোঁটা অ্যানিলিন নিয়ে মিশ্রণটির সঙ্গে 2 মিলি KOH দ্রবণ যোগ করে ধীরে ধীরে উত্তপ্ত করা হল। এর ফলে ফিনাইল আইসো-সায়ানাইড নামে এক পদার্থ উৎপন্ন হয়, যা তীব্র দুর্গন্ধ যুক্ত।

$$CHCl_3 + 3KOH + C_6H_5NH_2 \rightarrow C_6H_5—NC + 3KCl + 3H_2O$$

(2) একটি টেস্টটিউবের মধ্যে ক্লোরোফর্ম এবং ফেলিং দ্রবণ নিয়ে উত্তপ্ত করলে লাল বর্ণের Cu_2O উৎপন্ন হয়।

$$CHCl_3 + 2Cu(OH)_2 + 5KOH \rightarrow Cu_2O\downarrow + K_2CO_3 + 3KCl + 5H_2O$$

● ক্লোরোফর্মের সংরক্ষণ ঃ বায়ু ও অক্সিজেনের উপস্থিতিতে ক্লোরোফর্ম ধীরে ধীরে বিয়োজিত হয়ে বিষাক্ত ফসজিনে পরিণত হয়। $2CHCl_3 + O_2 \rightarrow 2COCl_2 + 2HCl$. তাই $CHCl_3$ এমনভাবে সংরক্ষণ করা হয় যেন $COCl_2$ উৎপন্ন হতে না পারে। ফসজিন উৎপন্নে বায়ু এবং আলোকের দরকার হয়। তাই $CHCl_3$-কে গাঢ় রং-এর বোতলে গলা পর্যন্ত ভর্তি করে 2% ইথানল সহ বায়ু নিরুদ্ধ কর্ক দ্বারা বন্ধ করে রাখা হয়। ইথানল $CHCl_3$-এর বিয়োজন রোধ করে। এছাড়া ইথানল বিষাক্ত ফসজিনকে ডাইইথাইল কার্বনেটে পরিণত করে যা ক্ষতিকর নয়। $2C_2H_5OH + COCl_2 = C_2H_5O—\overset{O}{\overset{\|}{C}}—OC_2H_5 + 2HCl$

4.7. আয়োডোফর্ম বা ট্রাই-আয়োডো মিথেন [Iodoform (CHI_3)]

(A) প্রস্তুতি ঃ ইথাইল অ্যালকোহল বা অ্যাসিটোনের সঙ্গে অ্যায়োডিন ও **সোডিয়াম হাইড্রক্সাইড** বা **সোডিয়াম কার্বনেটের** বিক্রিয়ায় আয়োডোফর্ম উৎপন্ন হয়। বিক্রিয়াটি ক্লোরোফর্ম প্রস্তুতির মতোই হয়ে থাকে।

$$CH_3CH_2OH + 4I_2 + 6NaOH \rightarrow CHI_3 + HCOONa + 5NaI + 5H_2O$$

NaOH-এর বদলে Na_2CO_3-এর জলীয় দ্রবণ ব্যবহার করা চলে।

$$C_2H_5OH + 4I_2 + 3Na_2CO_3 \rightarrow CHI_3 + HCOONa + 5NaI + 2H_2O + 3CO_2$$

পদ্ধতি ঃ (1) ইথানল থেকে ঃ একটি কনিক্যাল ফ্লাস্কের মধ্যে 15 গ্রাম **সোডিয়াম কার্বনেট ও 50 মিলি পাতিত জল নিয়ে Na_2CO_3-কে দ্রবীভূত করা হয় এবং দ্রবণটিকে 70°C—75°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করা হয়।** তারপর ওর সঙ্গে **10 মিলি ইথাইল অ্যালকোহল ও 5 গ্রাম আয়োডিন ধীরে ধীরে মেশানো হয়** এবং একটি কাচের দণ্ড দিয়ে ভালভাবে নাড়া হয়। ঠান্ডা হলে হলুদ রঙের আয়োডোফর্ম-কেলাস পাত্রের নীচে জমা হয়। ফিল্টার করে একে পৃথক করে ঠান্ডা জলে ধুয়ে ইথাইল অ্যালকোহল দিয়ে আবার কেলাসিত করলে বিশুদ্ধ আয়োডোফর্ম পাওয়া যায়।

(2) অ্যাসিটোন থেকে ঃ অ্যাসিটোনের সঙ্গে I_2 এবং NaOH অথবা NH_4OH-এর বিক্রিয়া দ্বারা আয়োডোফর্ম প্রস্তুত করা যায়। $CH_3COCH_3 + 3I_2 + 4NaOH \rightarrow CHI_3 + 3NaI + 3H_2O + CH_3COONa$

পদ্ধতি ঃ একটি 500 মিলি বিকারের মধ্যে 3 গ্রাম NaOH 250 মিলি পাতিত জলে দ্রবীভূত করে ওর সঙ্গে 1 মিলি অ্যাসিটোন যোগ করে মেশানো হয়। এরপর দ্রবণটিতে একটু একটু করে প্রায় 7 গ্রাম আয়োডিন যোগ করে নেড়ে দ্রবীভূত করা হয়। এইভাবে উৎপন্ন দ্রবণটিকে প্রায় 20 মিনিট সাধারণ উষ্ণতায় রেখে পরে ঠান্ডা জলের মধ্যে রেখে শীতল করলে আয়োডোফর্মের হলুদ বর্ণের কেলাস দ্রবণ থেকে পৃথক হয়। একে ছেঁকে পৃথক করা হয়।

(3) বেশি পরিমাণে আয়োডোফর্ম তৈরি করতে হলে **পটাশিয়াম আয়োডাইড, সোডিয়াম কার্বনেট ও ইথাইল অ্যালকোহল বা অ্যাসিটোনের জলীয় দ্রবণে 60°C—70°C উষ্ণতায় তড়িৎ চালনা করা হয়।**

পটাশিয়াম আয়োডাইড থেকে নির্গত আয়োডিন, ইথাইল অ্যালকোহল বা অ্যাসিটোনের সঙ্গে বিক্রিয়া করে এবং সোডিয়াম কার্বনেট দ্বারা আর্দ্রবিশ্লিষ্ট হয়ে আয়োডোফর্ম উৎপন্ন করে।

(B) ধর্ম ঃ ভৌত ধর্ম ঃ (i) আয়োডোফর্ম হলুদ-রং-এর তীব্রগন্ধ যুক্ত কেলাস; **(ii)** গলনাঙ্ক 119°C; **(iii)** জলে অদ্রাব্য, কিন্তু অ্যালকোহল, ক্লোরোফর্ম, ইথারে দ্রাব্য **(iv)** সহজেই ঊর্ধ্ব পাতিত হয়।

রাসায়নিক ধর্ম ঃ (1) আয়োডোফর্মের রাসায়নিক ধর্ম ক্লোরোফর্মের মতো, তবে ক্লোরোফর্মের চেয়ে কম সুস্থিত। আলো ও বায়ুর মধ্যে রাখলে আয়োডিন মুক্ত হয়।

(2) ফুটন্ত ইথানলীয় NaOH বা KOH দ্রবণের সঙ্গে আয়োডোফর্মের বিক্রিয়ায় ফর্মেট লবণ উৎপন্ন হয়।

$$CHI_3 + 4NaOH \rightarrow HCOONa + 2NaI + 2H_2O$$

(3) সিলভার চূর্ণের সঙ্গে আয়োডোফর্মের বিক্রিয়ায় **অ্যাসিটিলিন** উৎপন্ন হয় এবং সিলভার আয়োডাইডের অধঃক্ষেপ পড়ে।

$$2CHI_3 + 6Ag \rightarrow C_2H_2 + 6AgI\downarrow$$

(4) ক্লোরোফর্মের মতো অ্যালকোহলীয় KOH-এর উপস্থিতিতে প্রাইমারি অ্যামিনের সঙ্গে বিক্রিয়ায় **আইসোসায়ানাইড যৌগ** উৎপন্ন করে।

$$CH_3NH_2 + CHI_3 + 3KOH \xrightarrow{\Delta} CH_3NC + 3KI + 3H_2O$$

(C) শনাক্তকরণ ঃ সামান্য আয়োডোফর্মে 2 মিলি অ্যানিলিন এবং অ্যালকোহলীয় KOH-এর সঙ্গে যোগ করে উত্তপ্ত করলে ফিনাইল সায়ানাইডের তীব্র দুর্গন্ধ পাওয়া যায়।

$$CHI_3 + C_6H_5NH_2 + 2KOH \xrightarrow[\Delta]{} C_6H_5NC + 3KI + 3H_2O$$

(D) ব্যবহার (Uses) ঃ আয়োডোফর্ম অ্যান্টিসেপটিক হিসাবে ক্ষত চিকিৎসায় ব্যবহৃত হয়।

● ক্লোরোফর্ম থেকে ওর সঙ্গে মেশানো সামান্য পরিমাণ ইথানল দূর করবে কীভাবে?

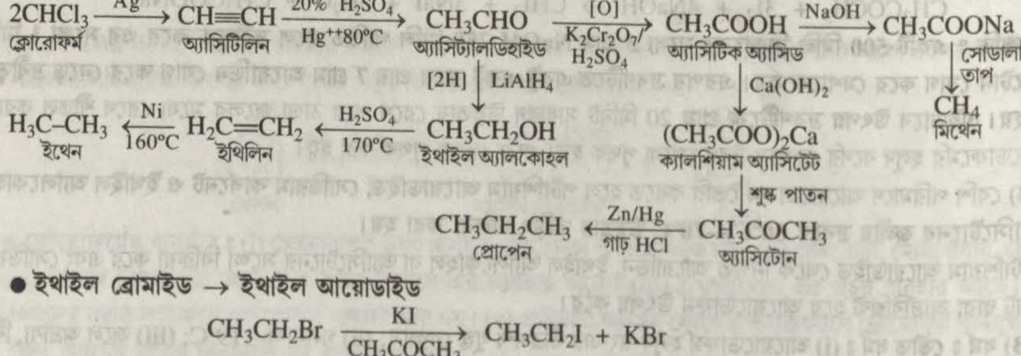
একটি বিয়োজী ফানেলের মধ্যে ক্লোরোফর্মের নমুনাটিকে নিয়ে ওর অর্ধেক পরিমাণ জল দিয়ে ভাল করে ঝাঁকিয়ে জলকে পৃথক করা হল। এই প্রক্রিয়াটি 5-6 বার সম্পন্ন করলে সমস্ত ইথানল জলে দ্রবীভূত হয়ে জলের সঙ্গে বেরিয়ে যায়। ক্লোরোফর্ম জলের সঙ্গে মেশে না। এর পর প্রাপ্ত ক্লোরোফর্মে অনার্দ্র $CaCl_2$ যোগ করে (জল দূর করার জন্য) 24 ঘন্টা রেখে পাতিত করলে বিশুদ্ধ $CHCl_3$ পাওয়া যায়।

● $[A] \xrightarrow[Hg^{++}\ 80^\circ C]{20\%\ H_2SO_4} [B] \xrightarrow{I_2} CHI_3 + CH_3COO^-$. A এবং B কী?

বিক্রিয়াটিতে দেখা যায়, B-এর সঙ্গে I_2 এবং ক্ষারের বিক্রিয়ায় আয়োডোফর্ম উৎপন্ন হয়েছে সুতরাং বিক্রিয়াটি আয়োডোফর্ম বিক্রিয়া যাতে B অংশ নেয়। সুতরাং B যৌগে নিশ্চয় CH_3CO অথবা $CH_3CH(OH)$ গ্রুপ থাকবে। B-এর আয়োডোফর্ম বিক্রিয়ায় যেহেতু CH_3COO^- উৎপন্ন হয়েছে, সুতরাং B যৌগটি হয় CH_3COCH_3 অথবা $CH_3CH(OH)CH_3$ হবে। আমরা জানি আলকাইনের সঙ্গে 20% H_2SO_4 এবং Hg^{++}-এর উপস্থিতিতে আর্দ্রবিশ্লেষণ ঘটে কার্বনিল যৌগ উৎপন্ন হয়। সুতরাং B যৌগ নিশ্চয় CH_3COCH_3 এবং A হল $CH_3C \equiv CH$ অর্থাৎ 1-প্রোপাইন। সুতরাং A = 1-প্রোপাইন এবং B হল প্রোপানোন CH_3COCH_3.

বিক্রিয়া ঃ $CH_3{-}C{\equiv}CH + H_2O \xrightarrow[Hg^{++}]{20\%\ H_2SO_4} \left[CH_3{-}\underset{OH}{C}{=}CH_2\right]_{\text{অস্থায়ী}} \longrightarrow CH_3COCH_3 \xrightarrow{I_2\ \text{ক্ষার}} CHI_3 + CH_3COO^-$

● রূপান্তরিতকরণ ঃ ক্লোরোফর্ম থেকে অ্যাসিটিলিন, অ্যাসিট্যালডিহাইড, অ্যাসেটিক অ্যাসিড, অ্যাসিটোন এবং ইথাইল অ্যালকোহল, ইথিলিন, ইথেন, প্রোপেন এবং মিথেন।



● ইথাইল ব্রোমাইড → ইথাইল আয়োডাইড

$$CH_3CH_2Br \xrightarrow[CH_3COCH_3]{KI} CH_3CH_2I + KBr$$

● অ্যাসিটোন → অ্যাসিটিলিন

$$CH_3COCH_3 \xrightarrow{I_2/NaOH} CHI_3 \xrightarrow[\text{তাপ}]{Ag} \underset{\text{অ্যাসিটিলিন}}{HC\equiv CH}$$

● অ্যাসিটিলিন → আয়োডোফর্ম

$$HC\equiv CH \xrightarrow[Hg^{++},\ 80^\circ C]{20\%\ H_2SO_4} CH_3CHO \xrightarrow{I_2/NaOH} \underset{\text{আয়োডোফর্ম}}{CHI_3\downarrow}$$

4.8. জৈব ধাতব যৌগ [Organometallic compounds]

যে সব জৈব যৌগে, কার্বন পরমাণু ধাতব পরমাণুর সাথে সরাসরি রাসায়নিক বন্ধনে আবদ্ধ থাকে তাদের জৈব ধাতব যৌগ বলে। যেমন অ্যালকিল ম্যাগনেশিয়াম হ্যালাইড (RMgX)। যেহেতু ধাতব পরমাণু কার্বনের থেকে বেশি ইলেকট্রোপজিটিভ তাই কার্বন ও ধাতব পরমাণু বন্ধনের ইলেকট্রন জোড়টি কার্বনের দিকে একটু বেশি সরে থাকে। এর ফলে কার্বন ও ধাতব পরমাণু বন্ধনের আয়নীয় ধর্ম দেখা যায়। যে ধাতব পরমাণুর ইলেকট্রোপজিটিভ ধর্ম বেশি, সেই ধাতব পরমাণু ও কার্বন বন্ধনের আয়নীয় ধর্মও বেশি।

অ্যালকিল ও অ্যারাইল ম্যাগনেশিয়াম হ্যালাইডকে গ্রিগনার্ড বিকারক বলে। এদের সংকেত হল RMgX বা ArMgX যেখানে R = অ্যালকিল ও Ar = অ্যারাইল গ্রুপ এবং X = Cl, Br এবং I. সুতরাং, CH_3MgI, C_2H_5MgBr, C_6H_5MgBr প্রভৃতি হল গ্রিগনার্ড বিকারকের উদাহরণ।

● গ্রিগনার্ড বিকারকের প্রস্তুতি ঃ

প্রস্তুতি ঃ অনার্দ্র ইথারীয় দ্রবণে শুষ্ক ধাতব ম্যাগনেশিয়াম এবং অনার্দ্র বিশুদ্ধ অ্যালকিল বা অ্যারাইল হ্যালাইড যোগ করে গ্রিগনার্ড বিকারক প্রস্তুত করা হয়। উৎপন্ন গ্রিগনার্ড বিকারকটি ইথারে দ্রবীভূত অবস্থায় থাকে এবং বিভিন্ন বিক্রিয়ায় এই দ্রবণই ব্যবহার করা হয়। যেমন,

$$R{-}X + Mg \xrightarrow{\text{ইথার}} RMgX \qquad R = \text{অ্যালকিল গ্রুপ}$$

$$Ar{-}X + Mg \xrightarrow{\text{ইথার}} ArMgX \qquad Ar = \text{অ্যারাইল গ্রুপ}$$

$$CH_3I + Mg \xrightarrow{\text{ইথার}} \underset{\text{মিথাইল Mg আয়োডাইড}}{CH_3MgI} \qquad C_6H_5Br + Mg \xrightarrow{\text{ইথার}} \underset{\text{ফিনাইল Mg ব্রোমাইড}}{C_6H_5MgBr}$$

একটি নির্দিষ্ট অ্যালকিল গ্রুপের জন্য বিভিন্ন অ্যালকিল হ্যালাইডগুলোর ম্যাগনেশিয়াম ধাতুর সাথে বিক্রিয়ার ক্রম হল R–I > R–Br > R–Cl. আবার একটি নির্দিষ্ট হ্যালোজেনের ক্ষেত্রে অ্যালকিল গ্রুপের বিক্রিয়ায় ক্রম হল $1^\circ > 2^\circ > 3^\circ$। আবার অ্যালকিল গ্রুপে যত কার্বন সংখ্যা কম হয় তত সহজেই অ্যালকিল ম্যাগনেশিয়াম হ্যালাইড তৈরী হয়। বিভিন্ন অ্যালকিল গ্রুপের গ্রিগনার্ড বিকারক তৈরি হওয়ার প্রবণতা হল এইরকম $CH_3X > C_2H_5X > C_3H_7X$. অ্যালকিল হ্যালাইড থেকে অ্যালকিল ম্যাগনেশিয়াম হ্যালাইড তৈরি হওয়াতে, অ্যালকিল গ্রুপের কার্বন পরমাণুর ধর্ম ইলেকট্রোপজিটিভ থেকে পরিবর্তিত হয়ে ইলেকট্রোনেগেটিভ হয়।

$$\overset{\delta+}{R}{-}\overset{\delta-}{X} \xrightarrow{Mg} \overset{\delta-}{R}\overset{\delta+}{Mg}X$$

● গ্রিগনার্ড বিকারকের রাসায়নিক বিক্রিয়া ঃ

গ্রিগনার্ড বিকারক একটি ধ্রুবীয় অণু $\overset{\delta-}{R}{-}\overset{\delta+}{Mg}X$. আবার গ্রিগনার্ড বিকারকের অ্যালকিল গ্রুপটি ক্ষার রূপে আচরণ করে। এই দুই ধর্মের উপর নির্ভর করে গ্রিগনার্ড বিকারকের বিক্রিয়াকে দু-ভাগে ভাগ করা যায়।

(A) দ্বিবন্ধন (>C = O) বা **ত্রিবন্ধন** (–C ≡ N) যৌগের সঙ্গে **যুত বিক্রিয়া।**

(B) সক্রিয় হাইড্রোজেন যৌগের সঙ্গে বিক্রিয়া। জৈব যৌগের যে H পরমাণুটি O, N বা অন্য কোনো তীব্র তড়িৎ ঋণাত্মক পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত থাকে, ওই H-পরমাণুকে সক্রিয় H-পরমাণু বলে।

(A) দ্বিবন্ধন বা ত্রিবন্ধন যুক্ত মূলকগুলির (>C = O, C = C, C ≡ N ইত্যাদির) সাথে গ্রিগনার্ড বিকারক যুত বিক্রিয়া দ্বারা অংশগ্রহণ করে।

যেমন, $>C=O + \overset{\delta-}{R}{-}\overset{\delta+}{Mg}X \longrightarrow >\underset{R}{\underset{|}{C}}{-}OMgX$

যদি কোনো যৌগে ভিন্ন প্রকৃতির কার্যকরী গ্রুপ থাকে, তখন এই বিকারক বেশি সক্রিয় গ্রুপের সাথে প্রথমে বিক্রিয়া করে। যদি বেশি পরিমাণ গ্রিগনার্ড বিকারক ব্যবহার করা হয়, তবেই কম সক্রিয় গ্রুপের সাথে বিক্রিয়া করবে। যেমন,

$$CH_3{-}\overset{O}{\overset{\|}{C}}{-}CH_2{-}CH_2{-}\overset{O}{\overset{\|}{C}}{-}OCH_3 + \underset{\text{(1 মোল)}}{\overset{\delta-}{R}{-}\overset{\delta+}{Mg}X} \longrightarrow CH_3{-}\overset{R}{\overset{|}{\underset{OMgX}{\underset{|}{C}}}}{-}CH_2CH_2{-}\overset{O}{\overset{\|}{C}}{-}OCH_3$$

এখানে RMgX প্রথমে কিটোনিক $C = O$ গ্রুপের সাথে বিক্রিয়া করে। এস্টারের $>C = O$ গ্রুপের সাথে বিক্রিয়া করে না। গ্রিগনার্ড বিকারকের সাথে বিভিন্ন গ্রুপের সক্রিয়তার ক্রম হল ঃ

$$\text{সক্রিয় H} >> -CHO > >C=O > -\overset{O}{\overset{\|}{C}}-Cl > -\overset{O}{\overset{\|}{C}}-OR > -CH_2X$$

$$HOCH_2CH_2COCH_2CH_2COOC_2H_5 \xrightarrow{RMgX} R{-}H + XMgOCH_2CH_2COCH_2CH_2COOC_2H_5 \xrightarrow{RMgX}$$

$$XMgOCH_2CH_2-\overset{OMgX}{\underset{R}{C}}-CH_2-CH_2COOC_2H_5 \xrightarrow{2RMgX} XMgOCH_2CH_2\overset{OMgX}{\underset{R}{C}}-CH_2CH_2-\overset{R}{\underset{R}{C}}-OMgX$$

(B) কোনো যৌগে যদি সক্রিয় হাইড্রোজেন (Active hydrogen) $-OH$, $-NH_2$, $-CH_2$ (সক্রিয় মিথিলিন) ইত্যাদি হিসাবে বর্তমান থাকে, তবে গ্রিগনার্ড বিকারক ওই গ্রুপের সাথে বিক্রিয়া করে হাইড্রোকার্বন উৎপন্ন করে।

$$CH_3MgCl + H_2O \rightarrow CH_4 + Mg(OH)Cl \qquad C_2H_5MgBr + NH_3 \rightarrow C_2H_6 + Mg(Br)NH_2$$

$$CH_3CH_2CH_2MgCl + HCl \rightarrow C_3H_8 + MgCl_2 \qquad HC{\equiv}CH + 2CH_3MgCl \rightarrow 2CH_4 + ClMgC{\equiv}CMgCl$$

উপরের বিক্রিয়াগুলি থেকে জানা যায় যে সক্রিয় H-এর সংখ্যার উপস্থিতি অনুযায়ী এক বা একাধিক মোল হাইড্রোকার্বন উৎপন্ন হয়। কোনো যৌগে উপস্থিত সক্রিয় H-পরমাণুর সংখ্যা নির্ণয় করা হয় নীচের পদ্ধতিতে—পরীক্ষাধীন যৌগের জানা ওজনের সঙ্গে অতিরিক্ত পরিমাণ CH_3MgI-এর বিক্রিয়া করানো হয়। বিক্রিয়ার ফলে উৎপন্ন মিথেনের আয়তন N.T.P.-তে পরিমাণ করে ওই যৌগে সক্রিয় H-পরমাণুর সংখ্যা সহজেই নির্ণয় করা যায়। এক তুল্যাঙ্ক সক্রিয় H-পরমাণুর জন্য N.T.P.-তে 22·4 লিটার CH_4 পাওয়া যাবে। এই পদ্ধতিকে **"জেরিভিটিনভের সক্রিয় হাইড্রোজেন নির্ধারণ পদ্ধতি"** বলা হয়।

●গ্রিগনার্ড বিকারকের সাংশ্লেষণিক ব্যবহার ঃ

1. অ্যালকেন প্রস্তুতি ঃ (i) জল, HCl অথবা অ্যালকোহলের সঙ্গে বিক্রিয়ায় গ্রিগনার্ড বিকারক **অ্যালকেন** উৎপন্ন করে। সক্রিয় H-পরমাণুযুক্ত জৈব যৌগের সঙ্গে গ্রিগনার্ড বিকারকের বিক্রিয়ায় **অ্যালকেন** উৎপন্ন হয়।

$$CH_3-CH_2-OH + CH_3MgI \longrightarrow CH_4 + Mg(OC_2H_5)I$$

2. প্রাইমারি অ্যালকোহল প্রস্তুতি ঃ (i) গ্রিগনার্ড বিকারকের ইথারীয় দ্রবণে শুষ্ক অক্সিজেন গ্যাস চালনা করে, লঘু অ্যাসিড দ্বারা আর্দ্র বিশ্লেষণ করলে গ্রিগনার্ড বিকারকের সমসংখ্যক কার্বন যুক্ত **প্রাইমারি অ্যালকোহল** উৎপন্ন হয়।

$$2RMgX \xrightarrow{O_2} 2ROMgX \xrightarrow{H_3O^+} 2ROH$$

$$2C_2H_5MgBr \xrightarrow{O_2} 2C_2H_5OMgBr \xrightarrow{H_3O^+} 2C_2H_5OH$$

(ii) ফর্মালডিহাইডের সাথে গ্রিগনার্ড বিকারকের বিক্রিয়ায় একটি বেশি কার্বনযুক্ত প্রাইমারি অ্যালকোহল প্রস্তুত করা যায়।

$$R\,MgCl + H-\underset{H}{C}=O \longrightarrow H-\overset{R}{\underset{H}{C}}-OMgCl \xrightarrow{H_3O^+} RCH_2OH + Mg(OH)Cl$$

(iii) ইথিলিন অক্সাইডের সাথে বিক্রিয়ায় গ্রিগনার্ড বিকারকের থেকে দুটি বেশি কার্বনযুক্ত প্রাইমারি অ্যালকোহল উৎপন্ন হয়।

$$RMgCl + \underset{\diagdown O \diagup}{CH_2-CH_2} \longrightarrow RCH_2CH_2OMgCl \xrightarrow{H_3O^+} RCH_2CH_2OH + Mg(OH)Cl$$

3. সেকেন্ডারি অ্যালকোহল প্রস্তুতি ঃ (i) ফর্ম্যালডিহাইড ছাড়া অন্য যে-কোনো অ্যালডিহাইডের সঙ্গে গ্রিগনার্ড বিকারকের বিক্রিয়ায় **সেকেন্ডারি অ্যালকোহল** প্রস্তুত হয়।

$$CH_3MgCl + CH_3-\underset{H}{C}=O \longrightarrow CH_3-\overset{CH_3}{\underset{H}{C}}-OMgCl \xrightarrow{H_3O^+} CH_3-\overset{CH_3}{\underset{H}{C}}-OH + Mg(OH)Cl$$

সেকেন্ডারি অ্যালকোহল

(ii) ইথাইল ফরমেটের সাথে 2 অণু গ্রিগনার্ড বিকারকের বিক্রিয়ায় সেকেন্ডারি অ্যালকোহল উৎপন্ন হয়।

$$CH_3MgCl + H{-}\overset{O}{\overset{\|}{C}}{-}OC_2H_5 \longrightarrow H{-}\underset{CH_3}{\overset{OMgCl}{C}}{-}OC_2H_5 \xrightarrow{-C_2H_5OMgCl} CH_3{-}\underset{H}{C}{=}O$$

$$\xrightarrow{CH_3MgCl} CH_3{-}\underset{H}{\overset{CH_3}{C}}{-}OMgCl \xrightarrow[H^+]{HOH} CH_3{-}\underset{H}{\overset{CH_3}{C}}{-}OH$$

সে. অ্যালকোহল

4. টারসিয়ারি অ্যালকোহল প্রস্তুতি ঃ (i) কিটোনের সাথে বিক্রিয়ায় টারসিয়ারি অ্যালকোহল প্রস্তুত হয়, যেমন

$$RMgBr + R{-}\underset{R}{C}{=}O \longrightarrow R{-}\underset{R}{\overset{R}{C}}{-}OMgBr \xrightarrow[NH_4Cl \text{ দ্রবণ}]{\text{জলীয়}} R{-}\underset{R}{\overset{R}{C}}{-}OH + Mg(OH)Br$$

যেহেতু অ্যাসিডের উপস্থিতিতে 3° অ্যালকোহল নিরুদিত হয়ে অ্যালকিনে পরিণত হয় সেজন্য জলীয় NH_4Cl দ্রবণ দ্বারা আর্দ্রবিশ্লেষণ করা হয়।

(ii) এস্টার (ফরমেট ছাড়া) কিংবা অ্যাসিড ক্লোরাইডের সাথে দুই অণু গ্রিগনার্ড বিকারকের বিক্রিয়ায় টারসিয়ারি অ্যালকোহল পাওয়া যায়।

$$RMgCl + \underset{\text{অ্যাসিড ক্লোরাইড}}{R{-}\underset{Cl}{C}{=}O} \longrightarrow R{-}\underset{Cl}{\overset{R}{C}}{-}OMgCl \xrightarrow{-MgCl_2} \underset{\text{কিটোন}}{R{-}\underset{R}{C}{=}O} \xrightarrow{RMgCl} R{-}\underset{R}{\overset{R}{C}}{-}OMgCl \xrightarrow[\text{দ্রবণ}]{NH_4Cl} \underset{\text{টার্সিয়ারি অ্যালকোহল}}{R{-}\underset{R}{\overset{R}{C}}{-}OH}$$

$$CH_3MgBr + \underset{\text{এস্টার}}{CH_3{-}\underset{OC_2H_5}{C}{=}O} \rightarrow \underset{\text{অস্থায়ী}}{CH_3{-}\underset{OC_2H_5}{\overset{CH_3}{C}}{-}OMgBr} \xrightarrow{-C_2H_5OMgBr} \underset{\text{অ্যাসিটোন}}{CH_3{-}\underset{CH_3}{C}{=}O} \xrightarrow{CH_3MgBr} CH_3{-}\underset{CH_3}{\overset{CH_3}{C}}{-}OMgBr$$

$$\xrightarrow[\text{দ্রবণ}]{NH_4Cl} CH_3{-}\underset{CH_3}{\overset{CH_3}{C}}{-}OH$$

টার্সিয়ারি বিউটাইল অ্যালকোহল

(iii) ইথাইল কার্বনেটের সাথে তিন অণু গ্রিগনার্ড বিকারকের বিক্রিয়ায় 3° অ্যালকোহল উৎপন্ন হয়।

5. অ্যালডিহাইড প্রস্তুতি ঃ (i) ইথাইল ফর্মেটের সাথে গ্রিগনার্ড বিকারকের বিপরীত সংযোজন (Reverse addition)-র মাধ্যমে অ্যালডিহাইড প্রস্তুত করা হয়।

$$RMgCl + H{-}\overset{O}{\overset{\|}{C}}{-}OC_2H_5 \longrightarrow H{-}\underset{OMgCl}{\overset{R}{C}}{-}OC_2H_5 \xrightarrow{H_3O^+} R{-}CHO + Mg(C_2H_5)Cl$$

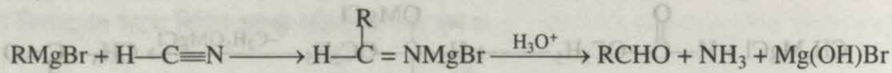
[সাধারণত বিক্রিয়া পাত্রে গ্রিগনার্ড বিকারক নিয়ে তার মধ্যে ধীরে ধীরে ড্রপিং ফানেল থেকে বিক্রিয়ক যোগ করা হয়। বিপরীত সংযোজনে, বিক্রিয়া পাত্রে বিক্রিয়ক নেওয়া হয় এবং ড্রপিং ফানেল থেকে গ্রিগনার্ড বিকারক যোগ করা হয়।]

বিপরীত সংযোজন না করলে, মধ্যবর্তী অস্থায়ী যৌগ অতিরিক্ত গ্রিগনার্ড বিকারকের সাথে বিক্রিয়ায় 2° অ্যালকোহল উৎপন্ন করে।

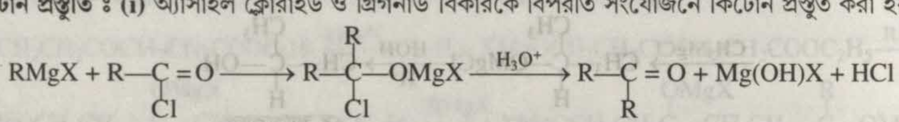
(ii) ইথাইল অর্থোফরমেটের সাথে গ্রিগনার্ড বিকারকের বিক্রিয়ায় বিশুদ্ধ অ্যালডিহাইড তৈরি করা যায়। অর্থোফরমেটের সাথে গ্রিগনার্ড বিকারকের বিক্রিয়ায় প্রথমে অ্যাসিটাল উৎপন্ন হয়। অ্যাসিটালের সাথে গ্রিগনার্ড বিকারক বিক্রিয়া করে না, সুতরাং অ্যাসিটালকে আর্দ্রবিশ্লেষণ করলেই অ্যালডিহাইড প্রস্তুত হয়।

$$RMgCl + H{-}\underset{OC_2H_5}{\overset{OC_2H_5}{C}}{-}OC_2H_5 \longrightarrow H{-}\underset{OC_2H_5}{\overset{R}{C}}{-}OC_2H_5 + Mg(OC_2H_5)Cl \xrightarrow{H_3O^+} R{-}CHO + 2C_2H_5OH$$

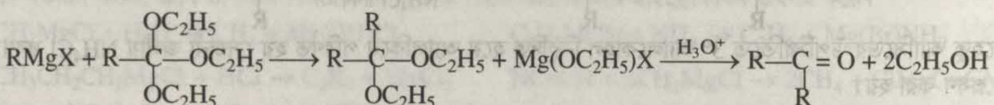
(iii) হাইড্রোজেন সায়ানাইড অথবা ফর্মামাইডের সাথে গ্রিগনার্ড বিকারকের বিক্রিয়ায় অ্যালডিহাইড উৎপন্ন হয়।



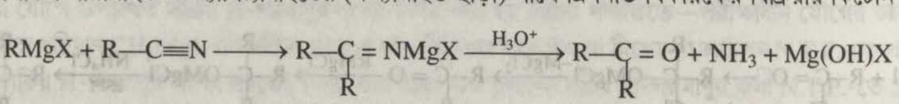
6. কিটোন প্রস্তুতি ঃ (i) অ্যাসাইল ক্লোরাইড ও গ্রিগনার্ড বিকারকে বিপরীত সংযোজনে কিটোন প্রস্তুত করা হয়।

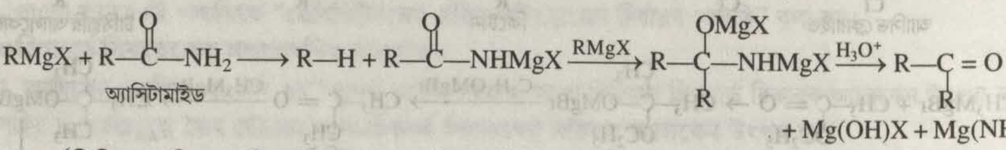


গ্রিগনার্ড বিকারক মধ্যবর্তী অস্থায়ী যৌগের সাথে বিক্রিয়ায় 3° অ্যালকোহল তৈরি করে। সেজন্য অর্থোফরমিক এস্টার ছাড়া অন্য কোনো অর্থো এস্টারের সাথে গ্রিগনার্ড বিকারকের বিক্রিয়ায় কিটোন প্রস্তুত করা হয়। এই বিক্রিয়ায় মধ্যবর্তী যৌগ হিসাবে কিটাল তৈরি হয় যা গ্রিগনার্ড বিকারকের সাথে বিক্রিয়া করে না। কিটালের আর্দ্রবিশ্লেষণে কিটোন পাওয়া যায়।

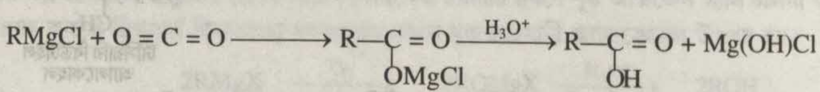


(ii) অ্যালকিল সায়ানাইড ও অ্যাসিট্যামাইডের (ফর্ম্যামাইড ছাড়া) সাথে গ্রিগনার্ড বিকারকের বিক্রিয়ায় কিটোন প্রস্তুত হয়।





7. কার্বোক্সিলিক অ্যাসিড প্রস্তুতি ঃ 0°C তাপমাত্রায় গ্রিগনার্ড বিকারকের সঙ্গে CO_2 গ্যাসের বিক্রিয়ায় কার্বোক্সিলিক অ্যাসিড প্রস্তুত হয়।



8. প্রাইমারি অ্যামিন প্রস্তুতি ঃ ক্লোরামিন অথবা **মিথাইল হাইড্রক্সিল** অ্যামিনের সঙ্গে বিক্রিয়ায় **প্রাইমারি অ্যামিন** পাওয়া যায়।

(i) $ClNH_2 + CH_3MgCl \longrightarrow MgCl_2 + CH_3NH_2$

(ii) $CH_3ONH_2 + 2CH_3MgCl \longrightarrow CH_3NHMgCl + CH_4 + Mg(OCH_3)Cl$

$$\downarrow H_3O^+$$

$$CH_3NH_2 + Mg(OH)Cl$$

মিথাইল অ্যামিন

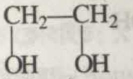
অ্যালকোহল

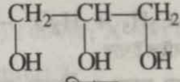
হাইড্রোকার্বনের এক বা একাধিক হাইড্রোজেন পরমাণুকে —OH গ্রুপ (Hydroxyl group) দ্বারা প্রতিস্থাপিত করলে যে যৌগ উৎপন্ন হয়, তাকে **অ্যালকোহল বা কোহল** বলে। অ্যালকোহলজাতীয় যৌগের কার্যকরী মূলক [—OH]।

4.9. অ্যালকোহলের শ্রেণিবিভাগ [Classification of Alcohols]

অ্যালকোহলে একাধিক (OH) গ্রুপ থাকতে পারে। **(i)** যে অ্যালকোহলের আণবিক গঠনে একটি (OH) গ্রুপ থাকে, তাকে **মনোহাইড্রিক** (Monohydric) **অ্যালকোহল** বলে। যেমন মিথানল (CH_3OH) ইথানল (C_2H_5OH)।

(ii) দুটি (—OH) গ্রুপ যুক্ত এবং তিনটি (—OH) গ্রুপ যুক্ত অ্যালকোহলকে যথাক্রমে ডাই-হাইড্রিক (Dihydric) এবং ট্রাই-হাইড্রিক (Trihydric) অ্যালকোহল বলে। যেমন—


ইথিলিন গ্লাইকল


গ্লিসারল

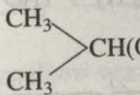
মনোহাইড্রিক অ্যালকোহল তিন রকম হতে পারে ঃ

(i) প্রাইমারি অ্যালকোহল (Primary Alcohol), **(ii) সেকেন্ডারি অ্যালকোহল** (Secondary Alcohol), **(iii) টারসিয়ারি অ্যালকোহল** (Tertiary Alcohol)

(i) প্রাইমারি অ্যালকোহল বা 1° অ্যালকোহল (Primary Alcohol) **ঃ অ্যালকোহলের (—OH) মূলকটি যে কার্বন পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত থাকে, তার সঙ্গে দুটি হাইড্রোজেন পরমাণু যুক্ত থাকলে অর্থাৎ যে অ্যালকোহলের আণবিক গঠনে (—CH_2OH) মূলক বর্তমান থাকে, তাকে প্রাইমারি আলকোহল অথবা 1°অ্যালকোহল বলে।** যেমন, H—CH_2OH মিথাইল অ্যালকোহল, CH_3—CH_2OH ইথাইল অ্যালকোহল। —CH_2OH মূলকটি কার্বন শৃঙ্খলের এক প্রান্তে থাকে।

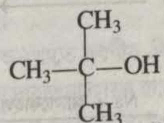
(ii) সেকেন্ডারি অ্যালকোহল বা 2°-অ্যালকোহল (Secondary Alcohol) **ঃ অ্যালকোহলের যে কার্বন পরমাণুর সঙ্গে (—OH) মূলক যুক্ত থাকে তাতে যদি শুধু একটি হাইড্রোজেন পরমাণু থাকে অর্থাৎ যে অ্যালকোহলে [>CHOH] মূলক বর্তমান থাকে, তাকে সেকেন্ডারি অ্যালকোহল অথবা 2° অ্যালকোহল বলে।**

যেমন,


; [>CHOH] মূলকটি কার্বন শৃঙ্খলের মাঝামাঝি কোন স্থানে থাকে।

আইসোপ্রোপাইল অ্যালকোহল

(iii) টারসিয়ারি বা 3° অ্যালকোহল (Tertiary Alcohol) **ঃ (—OH) মূলক যে কার্বন পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত থাকে, তাতে যদি কোনো হাইড্রোজেন পরমাণু যুক্ত না থাকে অর্থাৎ যে অ্যালকোহলে [>C—OH] মূলক থাকে, তাকে টারসিয়ারি অ্যালকোহল বা 3° অ্যালকোহল বলে।**


টারসিয়ারি বিউটাইল অ্যালকোহল বা 2-মিথাইল-2-প্রোপানল

4.10. অ্যালকোহলের প্রস্তুত প্রণালী [General methods of preparation of alcohol]

(1) অ্যালকিল হ্যালাইড আর্দ্র-বিশ্লেষণ দ্বারা ঃ (a) অ্যালকিল হ্যালাইডকে NaOH বা KOH-**এর জলীয় দ্রবণ সহ ফুটালে** অ্যালকিল হ্যালাইডের আর্দ্র-বিশ্লেষণ ঘটে **অ্যালকোহল** উৎপন্ন হয়।

$$\underset{\text{অ্যালকিল হ্যালাইড}}{R—X} + \underset{\text{জলীয় দ্রবণ}}{KOH} \longrightarrow R—OH + KX \quad [X = Cl, Br, I]$$

$$C_2H_5 \boxed{X + K} OH \longrightarrow C_2H_5OH + KX$$

$$CH_3CH_2CH_2Br + KOH \longrightarrow CH_3CH_2CH_2OH + KBr$$

একই অ্যালকিল গ্রুপ যুক্ত বিভিন্ন অ্যালকিল হ্যালাইডের ক্ষেত্রে আর্দ্র-বিশ্লেষণে হারের ক্রম হল—RCl < RBr < RI.

একই হ্যালোজেন পরমাণুযুক্ত বিভিন্ন অ্যালকিল হ্যালাইডের জলীয় ক্ষার দ্বারা আর্দ্র-বিশ্লেষণের হারের ক্রম হল—

3° অ্যালকিল হ্যালাইড < 2° অ্যালকিল হ্যালাইড < 1° অ্যালকিল হ্যালাইড

(b) অ্যালকিল হ্যালাইডের সঙ্গে জলে প্রলম্বিত **সিলভার অক্সাইডের** বিক্রিয়ায় সাধারণ তাপমাত্রায় অ্যালকোহল উৎপন্ন হয়—**এই বিক্রিয়ায় অ্যালকিন উৎপন্ন হয় না।** $CH_3CH_2I + AgOH \longrightarrow CH_3CH_2OH + AgI$

(2) এস্টারের ক্ষারীয় আর্দ্র-বিশ্লেষণে অ্যালকোহল পাওয়া যায়।

$$\underset{\text{ইথাইল অ্যাসিটেট}}{CH_3COO \boxed{C_2H_5} \boxed{+ Na} \boxed{OH}} \longrightarrow \underset{\text{সোডিয়াম অ্যাসিটেট}}{CH_3COONa} + \underset{\text{ইথানল}}{C_2H_5OH}$$

(3) ইথারের আর্দ্র-বিশ্লেষণ দ্বারা ঃ উচ্চ চাপে লঘু সালফিউরিক অ্যাসিডের সঙ্গে উত্তপ্ত করলে ইথার আর্দ্র বিশ্লিষ্ট হয়ে অ্যালকোহলে পরিণত হয়।

$$\underset{\text{ডাই ইথাইল ইথার}}{C_2H_5-O-C_2H_5} + H_2O \longrightarrow \underset{\text{ইথানল}}{2C_2H_5OH}$$

(4) অ্যালকিনের সঙ্গে জল সংযোজন দ্বারা ঃ শীতল গাঢ় H_2SO_4-এর মধ্যে অ্যালকিনকে চালনা করলে **অ্যালকিল হাইড্রোজেন সালফেট** উৎপন্ন হয়। এর পর উৎপন্ন পদার্থকে জল সহ তাপ দিলে ওই **অ্যালকিল হাইড্রোজেন সালফেটের আর্দ্র বিশ্লেষণ ঘটে অ্যালকিনের সমসংখ্যক C-পরমাণুযুক্ত অ্যালকোহল উৎপন্ন হয়। মারকনিকফ নিয়ম অনুযায়ী সংযুক্তি ঘটে।**

$$R-CH_2CH{=}CH_2 + H.HSO_4 \longrightarrow R-CH_2\underset{OSO_3H}{\underset{|}{CH}}-CH_3 \xrightarrow[\text{তাপ}]{H_2O} R-CH_2\underset{OH}{\underset{|}{CH}}-CH_3$$

$$\underset{\text{প্রোপিন}}{CH_3CH{=}CH_2} + H.HSO_4 \longrightarrow \underset{\text{প্রোপাইল হাইড্রোজেন সালফেট}}{CH_3\underset{OSO_3H}{\underset{|}{CH}}-CH_3} \xrightarrow{H_2O} \underset{\text{আইসোপ্রোপাইল অ্যালকোহল}}{CH_3-\underset{OH}{\underset{|}{CH}}-CH_3} + H_2SO_4$$

(5) প্রাইমারি অ্যামিন ও নাইট্রাস অ্যাসিডের (সোডিয়াম নাইট্রাইট ও লঘু অ্যাসিড) বিক্রিয়ায় অ্যালকোহল উৎপন্ন করে।

$$\underset{\text{মিথাইল অ্যামিন}}{CH_3-NH_2} + HNO_2 \longrightarrow \underset{\text{মিথানল}}{CH_3OH} + N_2 + H_2O$$

(6) কার্বনিল $[>C=O]$ মূলক যুক্ত যৌগের বিজারণ দ্বারা ঃ

(i) অ্যালডিহাইডকে উপযুক্ত বিজারক দিয়ে বিজারিত করলে সমসংখ্যক কার্বন পরমাণুযুক্ত প্রাইমারি অ্যালকোহল উৎপন্ন হয়। বিজারক দ্রব্যরূপে **লিথিয়াম অ্যালুমিনিয়াম হাইড্রাইড** ($LiAlH_4$), **নিকেল** (Ni) বা **প্লাটিনাম** (Pt) বা **প্যালেডিয়াম** (Pd) **অনুঘটকের** উপস্থিতিতে H_2 গ্যাস, Na/Hg, Na/ইথানল, Fe, Sn বা Zn, HCl ব্যবহৃত হয়।

$$\underset{\text{অ্যালডিহাইড}}{R-\underset{H}{\underset{|}{C}}{=}O} \xrightarrow{\text{Na/অ্যালকোহল}} \underset{1^\circ\ \text{অ্যালকোহল}}{R-CH_2OH}$$

যেমন ঃ

$$\underset{\text{অ্যাসিট্যালডিহাইড}}{CH_3CHO} \xrightarrow{\text{Na + অ্যালকোহল}} \underset{\text{ইথানল}}{CH_3CH_2OH}$$

(ii) কিটোন এইভাবে বিজারিত হয়ে সেকেন্ডারি অ্যালকোহল বা 2°অ্যালকোহল উৎপন্ন হয়।

$$\underset{\text{অ্যাসিটোন}}{CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-CH_3} \xrightarrow{\text{Na/অ্যালকোহল}} \underset{\text{আইসোপ্রোপাইল অ্যালকোহল (2° অ্যালকোহল)}}{CH_3-\underset{OH}{\underset{|}{CH}}-CH_3}$$

● **লিথিয়াম অ্যালুমিনিয়াম হাইড্রাইড** (Lithium Aluminium Hydride, ($LiAlH_4$)] একটি বিশিষ্ট বিজারক, কার্বনিল $(C=O)$ মূলকযুক্ত যে কোনো যৌগকে অ্যালকোহলে বিজারিত করে—অর্থাৎ **অ্যালডিহাইড, কার্বক্সিলিক অ্যাসিড ও অ্যাসিড ক্লোরাইড** প্রভৃতি যৌগ $LiAlH_4$ দ্বারা বিজারিত হয়ে **প্রাইমারি অ্যালকোহলে** পরিণত হয়, **কিটোন সেকেন্ডারি অ্যালকোহলে** পরিণত হয়।

(i) $$\underset{\text{ইথান্যাল}}{CH_3CHO} \xrightarrow[\text{(ii) } H_3O^+]{\text{(i) } LiAlH_4/\text{শুষ্ক ইথার}} \underset{\text{ইথানল}}{CH_3CH_2OH}$$

(ii) $$\underset{\text{প্রোপানোন}}{CH_3-\underset{O}{\underset{\|}{C}}-CH_3} \xrightarrow[\text{(ii) } H_3O^+]{\text{(i) } LiAlH_4/\text{শুষ্ক ইথার}} \underset{\text{2-প্রোপানল}}{CH_3-\underset{OH}{\underset{|}{CH}}-CH_3}$$

(iii) $$CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OX \xrightarrow[\text{(ii) } H_3O^+]{\text{(i) } LiAlH_4/\text{শুষ্ক ইথার}} CH_3-CH_2OH$$

X = Cl ঃ অ্যাসিড ক্লোরাইড; X = R′ (অ্যালকিল গ্রুপ) ঃ এস্টার; X = H ঃ অ্যাসিড

7. বুভো-ব্লাঙ্ক বিজারণ (Bouveault Blanc reduction) ঃ

অতিরিক্ত সোডিয়াম ও ইথানল দ্বারা এস্টার, অ্যালডিহাইড ও কিটোনকে বিজারিত করে অ্যালকোহল প্রস্তুতির পদ্ধতিকে বুভো-ব্লাঙ্ক বিজারণ বলে। এস্টার ও অ্যালডিহাইড থেকে 1° অ্যালকোহল এবং কিটোন থেকে 2° অ্যালকোহল উৎপন্ন হয়।

$$CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OC_2H_5 \xrightarrow{\text{Na/অ্যালকোহল}} CH_3-CH_2OH$$

(8) গ্রিগনার্ড বিকারকের সাথে বিক্রিয়ায় ঃ ফর্মালডিহাইডের সাথে গ্রিগনার্ড বিকারকের বিক্রিয়ায় প্রাইমারি অ্যালাকোহল উৎপন্ন হয়। অন্যান্য অ্যালডিহাইড সেকেন্ডারি অ্যালকোহল এবং কিটোন টার্সিয়ারি অ্যালকোহল উৎপন্ন করে।

[বিস্তারিত বিক্রিয়া এর আগে গ্রিগনার্ড বিকারকের সাংশ্লেষণিক ব্যবহারে আলোচনা করা হয়েছে।]

(9) হাইড্রোবোরেশন পদ্ধতি ঃ যেকোনো **অ্যালকিনের সঙ্গে ডাই বোরেনের** বিক্রিয়ায় প্রথমে **ট্রাই অ্যালকিল বোরেন** উৎপন্ন হয়। উৎপন্ন ট্রাই অ্যালকিল বোরেনের সঙ্গে ক্ষারীয় H_2O_2-এর বিক্রিয়ায় **প্রাইমারি অ্যালকোহল** উৎপন্ন হয়।

$$\underset{\text{প্রোপিন}}{3[CH_3CH{=}CH_2]} \xrightarrow{B_2H_6} \underset{\text{ট্রাইপ্রোপাইল বোরেন}}{[CH_3CH_2CH_2]_3B} \xrightarrow[NaOH]{H_2O_2} \underset{\text{প্রোপানল}}{3CH_3CH_2CH_2OH} + H_3BO_3$$

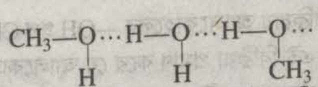
[হাইড্রোবোরেশন বিক্রিয়া মারকনিকফ্ সূত্রের বিপরীতভাবে সংযোজিত হয়।]

4.11. অ্যালকোহলের ধর্ম ও বিক্রিয়া [Properties and reactions of Alcohol]

(A) ভৌত ধর্ম (Physical properties) ঃ

(1) সাধারণ অবস্থায় নিম্নতর অ্যালকোহলগুলি বিশিষ্ট গন্ধযুক্ত, বর্ণহীন, উদ্‌বায়ী, প্রশম তরল। বারোর বেশি সংখ্যক কার্বন পরমাণু যুক্ত অ্যালকোহলগুলি নরম কঠিনাকার হয়।

(2) নিম্নতর অ্যালকোহলগুলি জলে যে কোনো অনুপাতে দ্রবণীয়, কিন্তু কার্বন পরমাণুর সংখ্যা বৃদ্ধির সঙ্গে অ্যালকোহলগুলির জলে দ্রাব্যতা কমতে থাকে। অ্যালকোহলগুলির জলে দ্রাব্যতার কারণ হলো অ্যালকোহল ও জলের অণুর মধ্যে আন্তরাণবিক (inter-molecular) হাইড্রোজেন বন্ধনী। অ্যালকোহল জলের সঙ্গে হাইড্রোজেন বন্ধন দ্বারা সংযোজিত অবস্থায় থাকে, এর জন্যই অ্যালকোহল জলে দ্রাব্য।



মিথানল ও জলের মধ্যে হাইড্রোজেন বন্ধনী

(3) আণবিক গুরুত্ব বাড়ার সঙ্গে সঙ্গে স্ফুটনাঙ্ক বাড়ে। আইসোমেরিক অ্যালকোহলগুলির ক্ষেত্রে স্ফুটনাঙ্কের ক্রম হল ঃ

প্রাইমারি > সেকেন্ডরি > টার্সিয়ারি

(B) রাসায়নিক বিক্রিয়া (Chemical reactions) ঃ

—OH গ্রুপের হাইড্রোজেন পরমাণুর বিক্রিয়া (Reaction of H atom of—OH group) ঃ

(1) সোডিয়াম, পটাশিয়াম প্রভৃতি ক্ষার ধাতুর সঙ্গে অ্যালকোহলের বিক্রিয়ায় অ্যালকোহলের —OH গ্রুপের H পরমাণু, Na বা K ধাতু দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে **অ্যালকোক্সাইড** যৌগ উৎপন্ন করে এবং H_2 নির্গত হয়। এই বিক্রিয়াটি **অ্যালকোহলের মৃদু অ্যাসিড ধর্ম প্রকাশ করে।** $2ROH + 2Na \rightarrow 2RONa + H_2\uparrow$

যেমন, ইথাইল অ্যালকোহলের সঙ্গে Na-এর বিক্রিয়ায় **সোডিয়াম ইথোক্সাইড** এবং হাইড্রোজেন উৎপন্ন হয়।

$$2C_2H_5OH + 2Na \longrightarrow \underset{\text{সোডিয়াম ইথোক্সাইড}}{2C_2H_5ONa} + H_2\uparrow$$

(2) গ্রিগনার্ড বিকারকের সঙ্গে ঃ অ্যালকিল ম্যাগনেশিয়াম হ্যালাইডের সঙ্গে (গ্রিগনার্ড বিকারক) অ্যালকোহলের বিক্রিয়ায়

অ্যালকেন উৎপন্ন হয়। এই বিক্রিয়ায় অ্যালকোহলের —OH গ্রুপের H পরমাণু গ্রিগনার্ড বিকারকের গ্রুপের সঙ্গে যুক্ত হয়ে অ্যালকেন উৎপন্ন হয়।

$$R{-}OH + CH_3MgI \longrightarrow \underset{\text{মিথেন}}{CH_4} + ROMgI$$

$$CH_2CH_2OH + C_2H_5MgBr \longrightarrow \underset{\text{মিথেন}}{C_2H_6} + CH_3CH_2OMgI$$

(3) অ্যাসিটাইলেশন ঃ অ্যাসিড ক্লোরাইড বা অ্যাসিটিক অ্যানহাইড্রাইডের সঙ্গে বিক্রিয়ায়, **—OH মূলকের** H পরমাণু অ্যাসিটাইল মূলক (CH_3CO) **দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে এস্টার উৎপন্ন করে।**

$$R{-}OH + CH_3COCl \longrightarrow CH_3COOR + HCl$$

$$\underset{\text{অ্যাসিটাইল ক্লোরাইড}}{CH_3COCl} + C_2H_5OH \longrightarrow \underset{\text{ইথাইল অ্যাসিটেট}}{CH_3COOC_2H_5} + HCl$$

—OH গ্রুপের বিক্রিয়া ঃ

(4) এস্টার গঠন (Formation of ester) **ঃ** বিভিন্ন জৈব এবং অজৈব অ্যাসিডের সঙ্গে অ্যালকোহলের বিক্রিয়ায় অ্যালকোহলের —OH গ্রুপ, অ্যাসিডের প্রতিস্থাপনীয় H পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত হয়ে এস্টার যৌগ এবং জল উৎপন্ন হয়। বিক্রিয়াটি উভমুখি, তাই বিক্রিয়াটিকে একমুখি করার জন্য গাঢ় H_2SO_4-এর উপস্থিতিতে বিক্রিয়াটি সম্পন্ন করা হয়। যেমন, **ইথানলের** সঙ্গে গাঢ় H_2SO_4-এর উপস্থিতিতে **গ্লেসিয়াল অ্যাসিটিক অ্যাসিডের** বিক্রিয়ায়, **ইথাইল অ্যাসিটেট** উৎপন্ন হয়।

$$\underset{\text{জৈব অ্যাসিড}}{RCOO\boxed{H + HO}} \underset{\text{অ্যালকোহল}}{-R} \xrightarrow{\text{গাঢ় } H_2SO_4} \underset{\text{এস্টার}}{RCOOR'} + H_2O$$

$$CH_3COOH + C_2H_5OH \xrightarrow{H_2SO_4} \underset{\text{ইথাইল অ্যাসিটেট}}{CH_3COOC_2H_5} + H_2O$$

অজৈব অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়া করেও অ্যালকোহল অজৈব অ্যাসিডের এস্টার গঠন করে। যেমন, ইথানলের সঙ্গে গাঢ় H_2SO_4, 100°C উষ্ণতায় **ইথাইল হাইড্রোজেন সালফেট** উৎপন্ন করে।

$$CH_3CH_2OH + H{-}O{-}SO_3H \longrightarrow \underset{\text{ইথাইল হাইড্রোজেন সালফেট}}{CH_3CH_2OSO_3H} + H_2O$$

(5) (a) PCl_5-এর সঙ্গে অ্যালকোহলের বিক্রিয়ায় অ্যালকোহলের —OH গ্রুপ Cl পরমাণু দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে **অ্যালকিল ক্লোরাইড** উৎপন্ন করে এবং **HCl উৎপন্ন** হয়। এই বিক্রিয়া প্রমাণ করে যে অ্যালকোহলে —OH গ্রুপ আছে।

এই বিক্রিয়ায় যত মোল HCl উৎপন্ন হয়, অ্যালকোহলটিতে তত সংখ্যক —OH গ্রুপ বর্তমান থাকে।

$$C_2H_5OH + PCl_5 \longrightarrow C_2H_5Cl + POCl_3 + HCl$$

(b) ক্লোরিন, ব্রোমিন বা আয়োডিন দ্বারা —OH গ্রুপকে প্রতিস্থাপিত করতে হলে Cl_2 বা Br_2 অথবা I_2-এর সঙ্গে প্রথমে **লাল ফসফরাসের** বিক্রিয়া দ্বারা PCl_3 বা PBr_3 অথবা PI_3 উৎপন্ন করা হয়। পরে এইভাবে উৎপন্ন PCl_3 বা PBr_3 অথবা PI_3-এর সঙ্গে অ্যালকোহলের বিক্রিয়ায় **অ্যালকিল হ্যালাইড** এবং **ফসফরাস অ্যাসিড** উৎপন্ন হয়।

$$2P + 3X_2 \longrightarrow 2PX_3$$

$$\underset{\text{অ্যালকোহল}}{3R{-}OH} + PX_3 \longrightarrow \underset{\text{অ্যালকিল হ্যালাইড}}{3RX} + H_3PO_3$$

$$\underset{\text{মিথানল}}{3CH_3OH} + PI_3 \longrightarrow \underset{\text{মিথাইল আয়োডাইড}}{3CH_3I} + H_3PO_3$$

(6) থায়োনিল ক্লোরাইডের সঙ্গে অ্যালকোহলের বিক্রিয়ায় **অ্যালকিল ক্লোরাইড** উৎপন্ন হয়।

$$C_2H_5OH + SOCl_2 \longrightarrow C_2H_5Cl + SO_2 + HCl$$

(7) হ্যালোজেন অ্যাসিডের সঙ্গে ঃ (i) হ্যালোজেন অ্যাসিডের (HCl, HBr, HI) সঙ্গে অ্যালকোহলের বিক্রিয়ায় অ্যালকিল হ্যালাইড উৎপন্ন হয়। HCl-এর সঙ্গে ঠান্ডা অবস্থায় অনার্দ্র $ZnCl_2$-এর উপস্থিতিতে এই বিক্রিয়া হয়।

$$C_2H_5OH + HI \longrightarrow C_2H_5I + H_2O$$

$$C_2H_5OH + HCl \xrightarrow{ZnCl_2} C_2H_5Cl + H_2O$$

অ্যালকোহলের সঙ্গে হ্যালোজেন অ্যাসিডের বিক্রিয়ার হারের ক্রম হল—HI > HBr > HCl

(ii) লাল P-এর উপস্থিতিতে অ্যালকোহলের সঙ্গে HI যোগ করে ফুটালে **অ্যালকেন** উৎপন্ন হয়।

$$C_2H_5OH + 2HI \xrightarrow{\text{লাল P}} \underset{\text{ইথেন}}{C_2H_6} + H_2O + I_2$$

(8) অ্যালকোহলের অ্যামোনোলিসিস ঃ কপার ক্রোমাইট বা **অ্যালুমিনাকে অনুঘটকরূপে** ব্যবহার করে, **অ্যালকোহল** এবং **অ্যামোনিয়ার** মিশ্রণকে **উচ্চচাপে** উত্তপ্ত করলে **অ্যামিন** যৌগ উৎপন্ন হয়।

$$\underset{\text{মিথানল}}{CH_3OH} + NH_3 \xrightarrow[\text{চাপ}]{Al_2O_3} \underset{\text{মিথাইল অ্যামিন}}{CH_3NH_2} + H_2O$$

(9) অ্যালকোহলের নিরুদন (Dehydration of alcohols) **ঃ (i)** অ্যালকোহলকে গাঢ় H_2SO_4 দ্বারা উত্তপ্ত করলে অ্যালকোহলের অণু থেকে এক অণু জল অপসারিত হয়ে **অ্যালকিন** উৎপন্ন হয়।

তিন রকম অ্যালকোহলের মধ্যে টার্সিয়ারি অ্যালকোহল থেকে সবচেয়ে সহজে জল অপসারিত হয়। নিরুদিত হওয়ার ক্ষমতা **হল—টার্সিয়ারি > সেকেন্ডারি > প্রাইমারি।**

$$\underset{\substack{\text{ইথাইল অ্যালকোহল}\\ \text{প্রাঃ অ্যালকোহল}}}{CH_3CH_2OH} \xrightarrow[\text{গাঢ় } H_2SO_4]{165^\circ C} \underset{\text{ইথিলিন}}{CH_2{=}CH_2} + H_2O$$

$$\underset{\text{সেকেন্ডারি আইসো বিউটাইল অ্যালকোহল}}{CH_3{-}CH_2{-}\underset{OH}{CH}{-}CH_3} \xrightarrow[140^\circ C]{\text{মধ্যম গাঢ় } H_2SO_4} \underset{\text{2-বিউটিন}}{CH_3{-}CH=CH{-}CH_3} + H_2O$$

$$\underset{\text{টাঃ বিউটাইল অ্যালকোহল}}{CH_3{-}\overset{CH_3}{\underset{OH}{C}}{-}CH_3} \xrightarrow[80^\circ C]{\text{লঘু } H_2SO_4} \underset{\text{2-মিথাইল প্রোপিন}}{CH_3{-}\overset{CH_3}{C}{=}CH_2} + H_2O$$

অ্যালকোহল নিরুদনে গাঢ় H_2SO_4, H_3PO_4, P_2O_5 ব্যবহার করা হয়।

(ii) অ্যালকোহল-বাষ্পকে 300°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত Al_2O_3 (অ্যালুমিনা)-এর উপর দিয়ে চালনা করলে অলিফিন উৎপন্ন হয়, অ্যালকোহলের পরিমাণ বেশি থাকলে **ইথারও** উৎপন্ন হয়।

$$C_2H_5OH \xrightarrow{Al_2O_3} \underset{\text{ইথিলিন}}{C_2H_4} + H_2O$$

নিরুদন প্রক্রিয়ায় অ্যালকোহলের —OH গ্রুপের দুই পাশে কার্বন পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত H পরমাণু থাকলে **একই অ্যালকোহল নিরুদিত হয়ে দু'রকম অ্যালকিন উৎপন্ন করে। এই ক্ষেত্রে কোন অ্যালকিনটি বেশি পরিমাণে উৎপন্ন হবে তা সেটজেফ সূত্র (Saytzeff rule) দ্বারা নির্ণীত হয়।**

(10) জারণ (Oxidation) **ঃ (i)** 1° প্রাইমারি অ্যালকোহল জারিত হয়ে প্রথমে **অ্যালডিহাইড** উৎপন্ন হয়, যা আরো জারিত হয়ে পরে অ্যাসিডে পরিণত হয়। উভয় ক্ষেত্রেই কার্বন পরমাণুর সংখ্যা সমান থাকে।

অ্যালকোহলের এরকম জারণ-ক্রিয়া সাধারণত $K_2Cr_2O_2$ ও H_2SO_4 কিংবা ক্ষারীয় $KMnO_4$ দ্বারা সম্পন্ন করা হয়।

$$\underset{\text{ইথাইল অ্যালকোহল}}{CH_3{-}\boxed{CH_2OH}} \xrightarrow{[O]} \underset{\text{অ্যাসিট্যালডিহাইড}}{CH_3{-}\boxed{CHO}} \xrightarrow{[O]} \underset{\text{অ্যাসিটিক অ্যাসিড}}{CH_3{-}\boxed{COOH}}$$

(ii) 2^o বা **সেকেন্ডারি অ্যালকোহলকে** জারিত করলে প্রথমে **কিটোন** এবং পরে তীব্রভাবে জারিত করলে উৎপন্ন কিটোন বিয়োজিত হয়ে **অ্যাসিডে** পরিণত হয়। **কিটোনে কার্বন পরমাণুর সংখ্যা সমান থাকে কিন্তু উৎপন্ন অ্যাসিডে কার্বন পরমাণুর সংখ্যা কমে যায়।** $K_2Cr_2O_7/H_2SO_4$ অথবা ক্ষারীয় $KMnO_4$ জারক দ্রব্য হিসাবে ব্যবহার করা হয়।

$$\underset{\text{2-প্রোপানল}}{CH_3-CH(OH)-CH_3} \xrightarrow{[O]} \underset{\text{প্রোপানোন}}{CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-CH_3} \xrightarrow{[O]} \underset{\text{ইথানোয়িক অ্যাসিড}}{CH_3COOH}$$

$$\underset{\text{2-বিউটানল}}{CH_3-CH_2-CH(OH)-CH_3} \xrightarrow{[O]} \underset{\text{2-বিউটানোন}}{CH_3-CH_2-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-CH_3} \xrightarrow{[O]} \underset{\text{প্রোপানোয়িক অ্যাসিড}}{CH_3CH_2COOH} + \underset{\text{ইথানোয়িক অ্যাসিড}}{CH_3COOH}$$

(iii) 3^o বা টারসিয়ারি অ্যালকোহলকে আম্লিক মাধ্যমে তীব্রভাবে জারিত করলে কিটোন ও কার্বক্সিলিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে—উভয়েরই কার্বন সংখ্যা অ্যালকোহলের কার্বন সংখ্যা থেকে কম হয়।

$$\underset{\text{টাঃ বিউটাইল অ্যালকোহল}}{(CH_3)_3COH} \xrightarrow[\text{বা আম্লিক } KMnO_4]{K_2Cr_2O_7/H_2SO_4} CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-CH_3 + CH_3COOH$$

(iv) ক্লোরিন, প্রাইমারি অ্যালকোহলকে জারিত করে প্রথমে **অ্যালডিহাইড** এবং পরে **ট্রাইক্লোরো অ্যালডিহাইড** উৎপন্ন করে।

$$\underset{\text{ইথানল}}{CH_3-CH_2-OH} + Cl_2 \rightarrow \underset{\text{অ্যাসিট্যালডিহাইড}}{CH_3-CHO} + 2HCl$$

$$\underset{\text{ইথান্যাল}}{CH_3-CHO} + 3Cl_2 \rightarrow \underset{\text{ট্রাইক্লোরো অ্যাসিট্যালডিহাইড বা ক্লোরাল}}{CCl_3CHO} + 3HCl$$

(11) ডিহাইড্রোজিনেশন ঃ প্রাইমারি ও সেকেন্ডারি অ্যালকোহল বাষ্পকে উত্তপ্ত কপার ও সিলভার অনুঘটকের উপর দিয়ে চালনা করলে জারিত হয়ে যথাক্রমে **অ্যালডিহাইড** ও **কিটোন** উৎপন্ন হয়। কিন্তু টার্সিয়ারি অ্যালকোহলের ক্ষেত্রে **অ্যালকিন** উৎপন্ন হয়।

(i) $$\underset{\text{ইথানল}}{CH_3-CH_2-OH} \xrightarrow[300^oC]{Cu \text{ অনুঘটক}} \underset{\text{ইথান্যাল}}{CH_3CHO} + H_2$$

(ii) $$\underset{\text{আইসো প্রোপাইল অ্যালকোহল}}{CH_3-CH(OH)-CH_3} \xrightarrow[300^oC]{Ag \text{ অনুঘটক}} \underset{\text{অ্যাসিটোন}}{CH_3COCH_3} + H_2$$

(iii) $$\underset{\text{টার্সিয়ারি বিউটাইল অ্যালকোহল}}{CH_3-\underset{CH_3}{\overset{CH_3}{C}}-OH} \xrightarrow[Cu]{300^o} \underset{\text{2-মিথাইল প্রোপিন}}{CH_3-\underset{CH_3}{C}=CH_2} + H_2O$$

● **1^o বা প্রাইমারি, 2^o বা সেকেন্ডারি, 3^o বা টার্সিয়ারি অ্যালকোহলের শনাক্তকরণ পরীক্ষা ঃ**

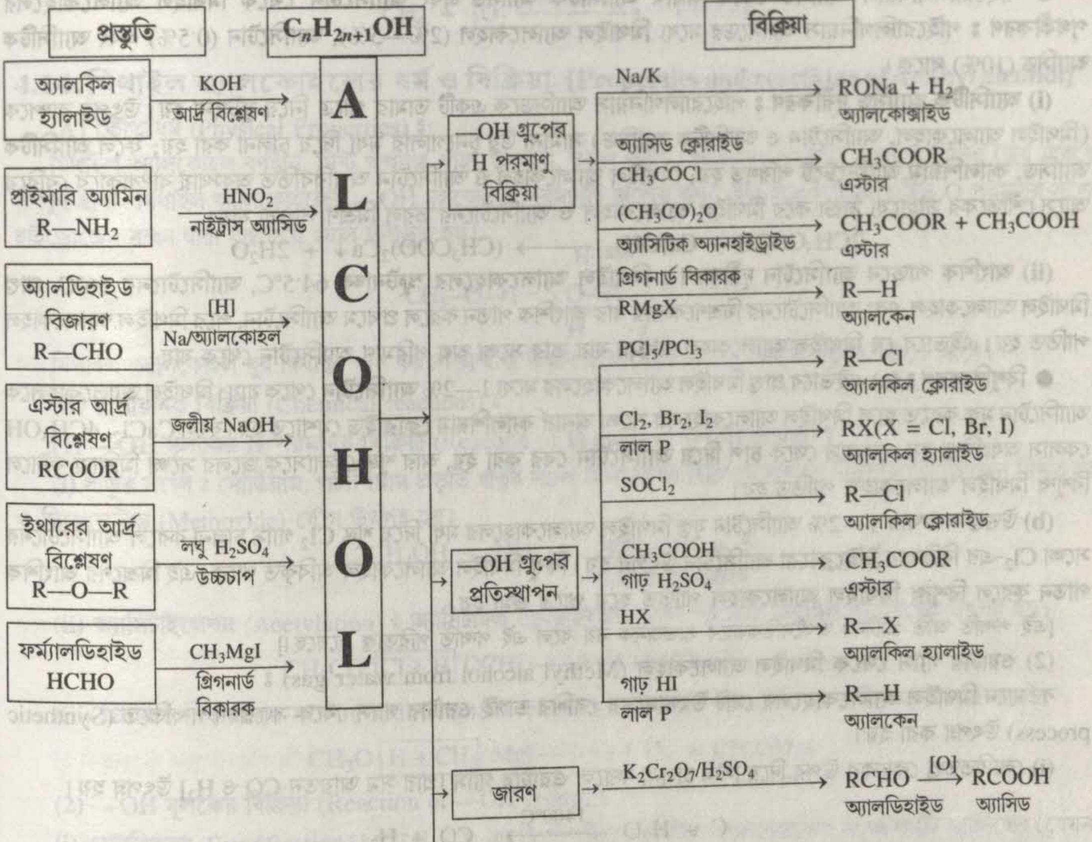
লুকাসের পরীক্ষা (Lucas test) **ঃ $ZnCl_2$** এবং **গাঢ় HCl-এর মিশ্রণ** (লুকাস বিকারক), ঘরের উষ্ণতায় **অ্যালকোহলের** সঙ্গে বিক্রিয়া করে **অ্যালকিল ক্লোরাইড** উৎপন্ন করে। লুকাস বিকারকের সঙ্গে এই তিনরকম অ্যালকোহলের বিক্রিয়ার হার বিভিন্ন হয়।

(a) টার্সিয়ারি অ্যালকোহলের সঙ্গে লুকাস বিকারকের বিক্রিয়া ঘরের উষ্ণতায় **দ্রুত হয়** এবং উৎপন্ন অ্যালকিল ক্লোরাইড, মাধ্যমে অদ্রাব্য বলে দ্রবণটি **দ্রুত ঘোলাটে হয়ে যায়।**

(b) সেকেন্ডারি অ্যালকোহলের সঙ্গে লুকাস বিকারকের **বিক্রিয়া ঘটতে প্রায় পাঁচ মিনিট সময় লাগে** (ঘরের উষ্ণতায়) এবং বিক্রিয়ার ফলে উৎপন্ন অ্যালকিল ক্লোরাইড অদ্রাব্য বলে ঘোলাটে হয়ে যায়।

(c) প্রাইমারি অ্যালকোহলের সঙ্গো লুকাস বিকারকের বিক্রিয়া ঘরের উষ্ণতায় ঘটে না—তবে উচ্চ উষ্ণতায় ঘটে।

• 1^o অ্যালকোহল প্রস্তুতি ও বিক্রিয়াসমূহ •



• মিথাইল অ্যালকোহল বা মিথানল •

মিথাইল অ্যালকোহল উড স্পিরিট (wood spirit) নামে পরিচিত।

4.12. মিথাইল অ্যালকোহল প্রস্তুতি [Preparation of Methyl Alcohol]

1. মিথাইল ক্লোরাইড-কে চুন জল সহযোগে আর্দ্র বিশ্লেষণ দ্বারা পরীক্ষাগারে মিথাইল অ্যালকোহল প্রস্তুত করা যায়।

$$2CH_3Cl + Ca(OH)_2 \xrightarrow{H_2O} \underset{\text{মিথানল}}{2CH_3OH} + CaCl_2$$

2. মিথাইল অ্যামিনের সঙ্গো নাইট্রাস অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় মিথানল উৎপন্ন হয়।

$$CH_3NH_2 + HNO_2 \longrightarrow CH_3OH + N_2\uparrow + H_2O$$

4.13. মিথাইল অ্যালকোহলের শিল্পোৎপাদন [Large scale production of methyl alcohol]

(1) কাঠের অন্তর্ধূম পাতন থেকে (From destructive distillation of wood) **:** শুকনো কাঠের গুঁড়োকে বায়ুশূন্য লোহার বক্‌যন্ত্রে (retort) রেখে 350ºC উষ্ণতায় উত্তপ্ত করে অন্তর্ধূম পাতন করলে যে উদ্‌বায়ী পদার্থগুলি পাতিত হয়ে আসে সেগুলিকে

শীতল ও ঘনীভূত করলে দুরকম তরল পাওয়া যায়। **(a)** নীচের ভারী অংশকে **কাঠ-আলকাতরা** (Wood Tar), **(b)** তার উপরের স্বচ্ছ জলীয় দ্রবণকে **পাইরোলিগনিয়াস অ্যাসিড** (Pyroligneous acid) বলে।

● **পাইরোলিগনিয়াস অ্যাসিড থেকে অর্থাৎ অ্যাসিটিক অ্যাসিড এবং অ্যাসিটোন থেকে মিথাইল অ্যালকোহলের পৃথকীকরণ ঃ** পাইরোলিগনিয়াস অ্যাসিডের মধ্যে **মিথাইল অ্যালকোহল** (2%—5%), **অ্যাসিটোন** (0·5%) এবং **অ্যাসিটিক অ্যাসিড** (10%) থাকে।

(i) অ্যাসিটিক অ্যাসিড দূরীকরণ ঃ পাইরোলিগনিয়াস অ্যাসিডকে একটি তামার পাত্রে নিয়ে ফুটানো হয়। উৎপন্ন বাষ্পকে (মিথাইল অ্যালকোহল, অ্যাসিটোন ও অ্যাসিটিক অ্যাসিড) সামান্য উষ্ণ চুনগোলার মধ্য দিয়ে চালনা করা হয়; ফলে **অ্যাসিটিক অ্যাসিড, ক্যালশিয়াম অ্যাসিটেটে পরিণত হয়;** মিথাইল অ্যালকোহল ও অ্যাসিটোন অপরিবর্তিত অবস্থায় বাষ্পাকারে বেরিয়ে আসে। শীতকের সাহায্যে ঠান্ডা করে মিথাইল অ্যালকোহল ও অ্যাসিটোনের তরল মিশ্রণ পাওয়া যায়।

$$2CH_3COOH + Ca(OH)_2 \longrightarrow (CH_3COO)_2Ca\downarrow + 2H_2O$$

(ii) আংশিক পাতনে অ্যাসিটোন দূরীকরণ ঃ মিথাইল অ্যালকোহলের স্ফুটনাঙ্ক 64·5°C, **অ্যাসিটোনের** 56°C, প্রাপ্ত মিথাইল অ্যালকোহল এবং অ্যাসিটোনের মিশ্রণকে বার বার আংশিক পাতন করলে প্রথমে অ্যাসিটোন, পরে মিথাইল অ্যালকোহল পাতিত হয়। এইভাবে যে মিথাইল অ্যালকোহল পাওয়া যায় তার সঙ্গে অল্প পরিমাণ অ্যাসিটোন থেকে যায়।

● **বিশুদ্ধিকরণ ঃ (a)** এইভাবে প্রাপ্ত মিথাইল অ্যালকোহলের মধ্যে 1—2% **অ্যাসিটোন** থেকে যায়। মিথাইল অ্যালকোহলকে অ্যাসিটোন মুক্ত করতে হলে মিথাইল অ্যালকোহলের সঙ্গে অনার্দ্র **ক্যালশিয়াম ক্লোরাইড** মেশাতে হয়। ফলে $CaCl_2, 4CH_3OH$ কেলাস অধঃক্ষিপ্ত হয়। কেলাস থেকে **চাপ দিয়ে অ্যাসিটোন বের করা হয়,** আর শুষ্ক কেলাসকে জলের সঙ্গে মিশিয়ে ফুটালে বিশুদ্ধ মিথাইল অ্যালকোহল পাতিত হয়।

(b) উত্তপ্ত অবস্থায় 1—2% অ্যাসিটোন যুক্ত মিথাইল অ্যালকোহলের মধ্য দিয়ে শুষ্ক Cl_2 গ্যাস চালনা করলে অ্যাসিটোনের সঙ্গে Cl_2-এর বিক্রিয়ায় **ট্রাইক্লোরো অ্যাসিটোন** উৎপন্ন হয়। কিন্তু মিথাইল অ্যালকোহল অবিকৃত থাকে। এই মিশ্রণের **আংশিক পাতন** করলে **বিশুদ্ধ মিথাইল অ্যালকোহল** পাতিত হয়ে পাত্রে জমা হয়।

[এই পদ্ধতি অতি প্রাচীন। অর্থনৈতিকভাবে লাভজনক নয় বলে এই পদ্ধতি পরিত্যক্ত হয়েছে।]

(2) ওয়াটার গ্যাস থেকে মিথাইল অ্যালকোহল (Methyl alcohol from water gas) **ঃ**

বর্তমানে **মিথাইল অ্যালকোহলের মোট উৎপাদনের বেশির ভাগই ওয়াটার গ্যাস** থেকে সংশ্লেষণ পদ্ধতিতে (Synthetic process) উৎপন্ন করা হয়।

(i) লোহিততপ্ত কোকের উপর দিয়ে স্টিম চালনা করলে **ওয়াটার গ্যাস** [প্রায় সম আয়তন CO ও H_2] উৎপন্ন হয়।

$$C + H_2O \xrightarrow{1400°C} CO + H_2$$

(ii) ওয়াটার গ্যাসের সঙ্গে এর অর্ধেক পরিমাণ হাইড্রোজেন মিশিয়ে এই গ্যাস মিশ্রণটিকে 300°C—400°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত অনুঘটক **জিঙ্ক অক্সাইড ও ক্রোমিয়াম অক্সাইডের** মিশ্রণের ($ZnO + Cr_2O_3$) উপর দিয়ে 200—250 বায়ুমন্ডল চাপে চালনা করলে মিথাইল অ্যালকোহল উৎপন্ন হয়।

$$C + \underset{\text{স্টিম}}{H_2O} \rightarrow \underset{\text{ওয়াটার গ্যাস}}{CO + H_2}$$

$$CO + 2H_2 \rightleftharpoons \underset{\text{মিথানল}}{CH_3OH} + \text{তাপ}$$

(iii) বিক্রিয়াটি তাপ উৎপাদক হওয়ায়, বিক্রিয়ার শুরুতে অনুঘটককে উত্তপ্ত করা হয়, বিক্রিয়া আরম্ভ হলে আর উত্তাপ দেওয়ার প্রয়োজন হয় না।

(iv) এইভাবে উৎপন্ন মিথাইল অ্যালকোহল বাষ্পের সঙ্গে অবিকৃত CO এবং H_2 থাকে। এই মিশ্রণকে ঠান্ডা করলে মিথানল বাষ্প শীতল ও ঘনীভূত হয়ে তরলে পরিণত করে পৃথক হয়। CO এবং H_2-এর মিশ্রণকে আবার ব্যবহার করা যায়। এই প্রক্রিয়ায় বিশুদ্ধ মিথাইল অ্যালকোহল পাওয়া যায়।

(3) প্রাকৃতিক গ্যাস থেকে (From natural gas) **ঃ** প্রাকৃতিক গ্যাসের মধ্যে প্রচুর পরিমাণে মিথেন থাকে। বর্তমানে এই মিথেন থেকে মিথাইল অ্যালকোহল প্রস্তুত করা হচ্ছে।

মিথেন এবং অক্সিজেন গ্যাস 9 : 1 আয়তন অনুপাতে মিশিয়ে মিশ্রণটিকে **100 অ্যাটমোসফিয়ার চাপে** এবং 200—250°C উষ্ণতায় **কপার অনুঘটকের** উপর দিয়ে চালনা করলে মিথেন O_2 দ্বারা জারিত হয়ে **মিথানল** উৎপন্ন করে।

$$CH_4 + \tfrac{1}{2}O_2 \xrightarrow[Cu]{200-250^\circ C} CH_3OH$$

4.14. মিথাইল অ্যালকোহলের ধর্ম ও বিক্রিয়া [Properties and reactions of methyl alcohol]

(A) ভৌত ধর্ম (Physical Properties) :

মিথাইল অ্যালকোহল বর্ণহীন, মিষ্ট গন্ধযুক্ত, দাহ্য, উদ্‌বায়ী, তরল পদার্থ। স্ফুটনাঙ্ক 64·5°C; জল ও বিভিন্ন জৈব দ্রাবকে সম্পূর্ণ দ্রাব্য। মিথাইল অ্যালকোহলের —OH মূলকের H পরমাণুটি জলের অণুর তীব্র ইলেকট্রোনেগেটিভ O পরমাণুর সঙ্গে হাইড্রোজেন বন্ধন দ্বারা যুক্ত হয়ে জলে দ্রবীভূত হয়।

$$CH_3{-}O{-}H\cdots\cdots \underset{\displaystyle H}{\underset{|}{O}}{-}H \quad (\text{H-বন্ধন})$$

মিথাইল অ্যালকোহল খুব বিষাক্ত, পান করলে অন্ধ বা উন্মাদ হয়ে যেতে পারে, এমনকি মৃত্যুও ঘটতে পারে।

(B) রাসায়নিক বিক্রিয়া (Chemical reactions) :

(1) —OH মূলকের H পরমাণুর বিক্রিয়া (Reaction of H atom of —OH group) :

(i) ধাতুর সঙ্গে : সোডিয়াম, পটাশিয়াম প্রভৃতি ধাতুর সঙ্গে মিথানলের বিক্রিয়ায় সাধারণ উষ্ণতায় হাইড্রোজেন নির্গত হয় ও **মিথোক্সাইড** (Methoxide) যৌগ উৎপন্ন হয়।

$$2CH_3OH + 2Na \rightarrow \underset{\text{সোডিয়াম মিথোক্সাইড}}{2CH_3ONa} + H_2$$

(ii) অ্যাসিটাইলেশন (Acetylation) : **অ্যাসিটাইল ক্লোরাইডের** সঙ্গে বিক্রিয়ায় **মিথাইল অ্যাসিটেট** উৎপন্ন হয়।

$$CH_3CO\,\boxed{Cl + H}\,OCH_3 \longrightarrow CH_3COOCH_3 + HCl$$

(iii) গ্রিগনার্ড বিকারকের সঙ্গে (With Grignard reagent) : গ্রিগনার্ড বিকারকের সঙ্গে মিথেন উৎপন্ন করে।

$$CH_3O\,\boxed{H + CH_3}\,MgI \longrightarrow CH_4 + CH_3OMgI$$

(2) —OH মূলকের বিক্রিয়া (Reaction of —OH group) :

(i) এস্টারিভবন (Esterification) : গাঢ় H_2SO_4-এর উপস্থিতিতে মিথাইল অ্যালকোহলের সঙ্গে ফ্যাটি অ্যাসিডের (যেমন, অ্যাসিটিক অ্যাসিড) বিক্রিয়ায় **মিথাইল এস্টার** উৎপন্ন হয়।

$$\underset{\text{অ্যাসিটিক অ্যাসিড}}{CH_3COOH} + \underset{\text{মিথাইল}}{CH_3OH} \xrightarrow{\text{গাঢ় } H_2SO_4} \underset{\text{মিথাইল অ্যাসিটেট}}{CH_3COOCH_3} + H_2O$$

(ii) হ্যালোজেন অ্যাসিডের সঙ্গে (With Halogen acids) : অনার্দ্র $ZnCl_2$-এর উপস্থিতিতে মিথাইল অ্যালকোহলের সঙ্গে HCl, HBr এবং HI-এর বিক্রিয়ায় যথাক্রমে মিথাইল ক্লোরাইড, মিথাইল ব্রোমাইড এবং মিথাইল আয়োডাইড উৎপন্ন হয়।

যেমন, $$CH_3\,\boxed{OH + H}\,Cl \longrightarrow \underset{\text{মিথাইল ক্লোরাইড}}{CH_3Cl} + H_2O$$

(iii) অ্যামোনিয়ার সঙ্গে (Action on ammonia) : মিথাইল অ্যালকোহল বাষ্প এবং অ্যামোনিয়ার মিশ্রণকে 300°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত Al_2O_3-এর উপর দিয়ে চালনা করলে **মিথাইল অ্যামিন** উৎপন্ন হয়।

$$CH_3OH + HNH_2 \xrightarrow[Al_2O_3]{300^\circ C} \underset{\text{মিথাইল অ্যামিন}}{CH_3NH_2} + H_2O$$

(iv) থায়োনিল ক্লোরাইডের সঙ্গে (With thionyl chloride) : থায়োনিল ক্লোরাইডের সঙ্গে বিক্রিয়ায় **মিথাইল ক্লোরাইড** উৎপন্ন হয়। $CH_3OH + SOCl_2 \longrightarrow CH_3Cl + SO_2 + HCl$

(v) ফসফরাস পেন্টাক্লোরাইড বা ট্রাই-ক্লোরাইডের সঙ্গে মিথাইল অ্যালকোহলের বিক্রিয়ায় **মিথাইল ক্লোরাইড** উৎপন্ন হয়।

$$3CH_3OH + PCl_3 \rightarrow 3CH_3Cl + H_3PO_3$$

$$CH_3OH + PCl_5 \rightarrow CH_3Cl + POCl_3 + HCl$$

মিথানলের সঙ্গে লাল ফসফরাস ও ব্রোমিন বা আয়োডিনের বিক্রিয়ায় যথাক্রমে মিথাইল ব্রোমাইড ও মিথাইল আয়োডাইড উৎপন্ন হয়।

$$2P + 3Br_2 = 2PBr_3$$

$$3CH_3OH + PBr_3 = 3CH_3Br + H_3PO_3$$

(3) মিথাইল অ্যালকোহলের জারণ (Oxidation of methyl alcohol) ঃ

(i) মিথাইল অ্যালকোহল বাষ্পকে 300°C—350°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত কপার তারজালির উপর দিয়ে চালনা করলে হাইড্রোজেন নির্গত হয় ও **ফর্মালডিহাইড** (Formaldehyde) উৎপন্ন হয়। বিক্রিয়াটি বায়ুর অনুপস্থিতিতে সম্পন্ন করা হয়।

$$H—CH_2OH \xrightarrow[300^\circ C—350^\circ C]{Cu} \underset{\text{ফর্মালডিহাইড}}{HCHO} + H_2$$

(ii) বায়ু বা অক্সিজেন মিশ্রিত মিথাইল অ্যালকোহল বাষ্পকে উত্তপ্ত প্লাটিনাম বা কপার তারজালির উপর দিয়ে চালনা করলে জারিত হয়ে **ফর্মালডিহাইড** উৎপন্ন হয়।

$$2H—CH_2OH + O_2 \xrightarrow{Cu} 2HCHO + 2H_2O$$

(iii) পটাশিয়াম ডাই-ক্রোমেট ও গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড মিশ্রণ দিয়ে মিথাইল অ্যালকোহলকে জারিত করলে প্রথমে **ফর্মালডিহাইড** ও পরে **ফর্মিক অ্যাসিড** (Formic acid) উৎপন্ন হয়।

$$CH_3OH \xrightarrow{[O]} \underset{\text{ফর্মালডিহাইড}}{H—CHO} + H_2O \quad ; \quad HCHO \xrightarrow{[O]} \underset{\text{ফর্মিক অ্যাসিড}}{H—COOH}$$

(4) নিরুদন বিক্রিয়া (Dehydration) ঃ গাঢ় H_2SO_4-এর সঙ্গে মিথাইল অ্যালকোহল মিশিয়ে উত্তপ্ত করলে 100°C উষ্ণতায় প্রথমে **মিথাইল হাইড্রোজেন সালফেট** এবং পরে **ডাই-মিথাইল সালফেট** উৎপন্ন হয়।

(i) $CH_3OH + H—HSO_4 \longrightarrow CH_3HSO_4 + H_2O$

(ii) $2CH_3HSO_4 \longrightarrow (CH_3)_2SO_4 + H_2SO_4$

(iii) এই বিক্রিয়ায় মিথাইল অ্যালকোহলের পরিমাণ বেশি থাকলে 140°C উষ্ণতায় **ডাই-মিথাইল ইথার** উৎপন্ন হয়।

$$CH_3OH + CH_3HSO_4 \longrightarrow \underset{\text{ডাই-মিথাইল ইথার}}{CH_3—O—CH_3} + H_2SO_4$$

(5) মিথানলের বিজারণ (Reduction of methanol) ঃ লাল P-এর উপস্থিতিতে উষ্ণ এবং গাঢ় HI মিথাইল অ্যালকোহলকে বিজারিত করে মিথেনে পরিণত করে।

$$CH_3OH + 2HI \xrightarrow{\text{লাল P}} CH_4 + I_2 + H_2O$$

(6) সোডালাইম সহ মিথানলকে উত্তপ্ত করলে **সোডিয়াম ফর্মেট** এবং হাইড্রোজেন উৎপন্ন হয়।

$$CH_3OH + NaOH \xrightarrow{CaO} HCOONa + 2H_2$$

● **মিথাইল অ্যালকোহলের শনাক্তকরণ পরীক্ষা** (Identification test of methyl alcohol) ঃ

(i) একটি টেস্টটিউবে **মিথাইল অ্যালকোহল** এবং **স্যালিসাইলিক অ্যাসিড** নিয়ে ওর মধ্যে কয়েক ফোঁটা গাঢ় H_2SO_4 যোগ করে উত্তপ্ত করলে **আয়োডেক্সের (উইন্টার গ্রিন তেলের) গন্ধবিশিষ্ট মিথাইল স্যালিসাইলেট** উৎপন্ন হয়।

(ii) মিথাইল অ্যালকোহল, গাঢ় H_2SO_4 এবং $K_2Cr_2O_7$ মিশিয়ে মিশ্রণকে পাতন করলে ফর্মিক অ্যাসিড পাতিত হয়। উৎপন্ন ফর্মিক অ্যাসিডের সঙ্গে NH_3 মিশ্রিত $AgNO_3$ দ্রবণ যোগ করলে ধূসর বর্ণের ধাতব Ag অধঃক্ষিপ্ত হয়।

$$CH_3OH \xrightarrow[K_2Cr_2O_7/H_2SO_4]{[O]} \underset{\text{ফর্মিক অ্যাসিড}}{HCOOH} + H_2O$$

$$HCOOH \xrightarrow[NH_3]{AgNO_3} Ag\downarrow + H_2O + CO_2$$

(iii) মিথাইল অ্যালকোহল **আয়োডোফর্ম বিক্রিয়া** করে না।

(iv) মিথাইল অ্যালকোহল একটি টেস্টটিউবে নিয়ে এর মধ্যে লোহিততপ্ত কপার কুণ্ডলী ডোবালে ফর্মালডিহাইডের ঝাঁঝালো গন্ধ পাওয়া যায়।

4.15. মিথাইল অ্যালকোহলের ব্যবহার [Uses of Methyl alcohol]

(i) ইথাইল অ্যালকোহলকে মেথিলেটেড স্পিরিটে পরিণত করার জন্য মিথাইল অ্যালকোহল ব্যবহৃত হয়। **(ii)** ফর্মালডিহাইড প্রস্তুতিতে, রং ও বার্নিশ শিল্পে দ্রাবক হিসাবেও এর প্রচুর ব্যবহার আছে। **(iii)** পেট্রোলের সঙ্গে মিশিয়ে মোটরের জ্বালানি রূপে ব্যবহৃত পাওয়ার অ্যালকোহল উৎপন্ন করতে ব্যবহৃত হয়। **(iv)** গাড়ির রেডিয়েটারে অ্যান্টি-ফ্রিজ রূপে ব্যবহৃত হয়।

● ইথাইল অ্যালকোহল বা ইথানল ●

4.16. ইথাইল অ্যালকোহল প্রস্তুতি [Preparation of Ethyl alcohol]

প্রধানত দুটি উপায়ে ইথাইল অ্যালকোহল প্রস্তুত করা হয়। **(1) সংশ্লেষণ পদ্ধতি (2) কোহল সন্ধান পদ্ধতি ঃ**

(1) সংশ্লেষণ পদ্ধতি ঃ পেট্রোলিয়াম ক্র্যাকিং (cracking)-এর সময় প্রচুর পরিমাণ ইথিলিন উৎপন্ন হয়। কোক ওভেন (coke oven) গ্যাস থেকেও প্রচুর ইথিলিন পাওয়া যায়।

ইথিলিনকে উচ্চচাপে ও 80°C—100°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত 98% গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের মধ্যে চালনা করলে ইথিলিন শোষিত হয়ে **ইথাইল হাইড্রোজেন সালফেটে** পরিণত হয়। ইথাইল হাইড্রোজেন সালফেটের সঙ্গে জল মিশিয়ে ফোটালে ইথাইল অ্যালকোহল পাতিত হয়।

$$C_2H_4 + H_2SO_4 \rightarrow C_2H_5HSO_4$$
$$C_2H_5HSO_4 + H_2O \rightarrow C_2H_5OH + H_2SO_4$$

(2) কোহলসন্ধান পদ্ধতি বা ফারমেন্টেশন (Alcoholic fermentation process) **ঃ**

(1) গ্লুকোজ থেকে ইথাইল অ্যালকোহল (Ethyl Alcohol from Glucose) **ঃ চিনি বা ফলের রসকে সহজেই অ্যালকোহলে** পরিণত করা যায়। এই বিক্রিয়ার জন্য **ইস্ট** (yeast) নামে একপ্রকার খুব ছোটো ছত্রাক (fungus) জাতীয় এককোশি উদ্ভিদের প্রয়োজন হয়।

(i) গ্লুকোজ দ্রবণে কিছুটা ইস্ট সাধারণ তাপমাত্রায় মেশানো হলে, কিছুক্ষণ পরে দ্রবণের উপর ফেনা জমতে থাকে, মনে হয় যেন দ্রবণটি ফুটছে; অথচ তাপমাত্রার কোনো বৃদ্ধি হয় না। আসলে গ্লুকোজ বিয়োজিত হয়ে ইথাইল অ্যালকোহল ও কার্বন ডাইঅক্সাইডে পরিণত হয়, CO_2 গ্যাস নির্গত হওয়ার জন্যই দ্রবণটি ফুটন্ত বলে মনে হয়। **গ্লুকোজের জলীয় দ্রবণে ইস্ট** (yeast) **যোগ করে দ্রবণের উষ্ণতা 30°C-এ রাখলে, ওই পরিবেশে ইস্টের দেহ থেকে নাইট্রোজেনঘটিত একরকম জটিল যৌগ উৎপন্ন হয়। নাইট্রোজেনঘটিত এই জটিল যৌগকে জাইমেজ বলে।** গ্লুকোজের বিয়োজন ঘটিয়ে ইথাইল অ্যালকোহল ও CO_2 উৎপন্ন করে।

$$C_6H_{12}O_6 \xrightarrow[\text{জাইমেজ}]{\text{ঈস্ট } 30^\circ C} 2C_2H_5OH + 2CO_2\uparrow$$

দ্রবণটিকে ফুটন্ত দেখায় বলেই এই প্রক্রিয়াকে **ফার্মেন্টেশন** (fermentation) বা সন্ধান প্রক্রিয়া বলে, কারণ গ্রিক ভাষায় *'fervere'* অর্থ ফুটন্ত। পরীক্ষায় জানা গেছে এই বিক্রিয়ায় ইস্টের দেহ থেকে নাইট্রোজেন ঘটিত জটিল যৌগ উৎপন্ন হয়। এই নাইট্রোজেন ঘটিত যৌগটি এই বিক্রিয়ায় অনুঘটকের কাজ করে। তাই ইস্টের দেহ থেকে উৎপন্ন N_2 ঘটিত জটিল যৌগকে **জৈব অনুঘটক** বা **এনজাইম** বলে।

যে রাসায়নিক বিক্রিয়ায় জীবন্ত এককোশি উদ্ভিদ বা প্রাণীদেহ থেকে উৎপন্ন এনজাইম, অনুঘটক রূপে ব্যবহৃত হয়ে কোনো জৈব যৌগের বিয়োজন ঘটিয়ে ভিন্ন ধর্মবিশিষ্ট সরলতর অন্য জৈব যৌগ উৎপন্ন হয়, সেই রাসায়নিক বিক্রিয়াকে সন্ধান প্রক্রিয়া বা ফারমেন্টেশন বলে।

এনজাইমের প্রভাবে **কার্বোহাইড্রেট** জাতীয় পদার্থের বিয়োজনের ফলে অ্যালকোহল উৎপন্ন হলে সেই বিক্রিয়াকে **কোহল সন্ধান** বা **অ্যালকোহলীয় ফারমেন্টেশন** বলে।

সন্ধান প্রক্রিয়ায় 7—10% ইথাইল অ্যালকোহল পাওয়া যায়। একে **'ওয়াশ'** (wash) বলে।

(ii) এই জলমিশ্রিত অ্যালকোহলকে কফির স্টিল যন্ত্রে আংশিক পাতন দ্বারা জল বিতাড়িত করে 95% রেক্টিফায়েড স্পিরিট পাওয়া যায়।

কোহল সন্ধানে অংশগ্রহণকারী ইস্টের অন্তর্ভুক্ত এনজাইমগুলি যথাক্রমে মল্টেজ (Maltase), **ইনভার্টেজ** (Invertase) **ও জাইমেজ** (Zymase)।

(i) মল্টেজ এনজাইম শর্করা মল্টোজ (Maltose, $C_{12}H_{22}O_{11}$)-**কে বিশ্লিষ্ট করে গ্লুকোজে পরিণত করে।**

$$\underset{\text{মল্টোজ}}{C_{12}H_{22}O_{11}} + H_2O \xrightarrow{\text{মল্টেজ}} \underset{\text{গ্লুকোজ}}{2C_6H_{12}O_6}$$

(ii) ইনভার্টেজ এনজাইম শর্করা সুক্রোজ বা চিনি (Sucrose or Cane Sugar) $C_{12}H_{22}O_{11}$-**কে আর্দ্র বিশ্লিষ্ট করে গ্লুকোজ ও ফ্রুকটোজে** (Fructose) **পরিণত করে।**

$$\underset{\text{সুক্রোজ}}{C_{12}H_{22}O_{11}} + H_2O \xrightarrow{\text{ইনভার্টেজ}} \underset{\text{গ্লুকোজ}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{ফ্রুকটোজ}}{C_6H_{12}O_6}$$

(iii) জাইমেজ এনজাইম গ্লুকোজ ও ফ্রুকটোজকে বিয়োজিত করে ইথাইল অ্যালকোহল ও কার্বন ডাইঅক্সাইড উৎপন্ন করে।

$$\underset{\text{গ্লুকোজ}}{C_6H_{12}O_6} \xrightarrow{\text{জাইমেজ}} \underset{\text{ইথানল}}{2C_2H_5OH} + 2CO_2$$

(2) ঝোলা গুড় থেকে ইথাইল অ্যালকোহল (Ethyl Alcohol from Molasses) ঃ ভারতবর্ষের মতো যেসব দেশে প্রচুর পরিমাণে চিনি উৎপন্ন হয়, সেইসব দেশে উপজাত (By-product) হিসাবে ঝোলাগুড় পাওয়া যায়। আখের রস থেকে চিনির কেলাস বের করে নেওয়ার পর গাঢ় বাদামি রংয়ের ভারী চট্‌চটে যে শেষ দ্রব (Mother liquor) পড়ে থাকে, তাকে ঝোলা গুড় বলে।

[A] সন্ধান প্রক্রিয়া (Fermentation) ঃ ঝোলা গুড়ে সন্ধানযোগ্য (Fermentable) **চিনির পরিমাণ প্রায় 40%**। এর বেশির ভাগ অংশই হল সুক্রোজ (70%), **গ্লুকোজ ও ফ্রুকটোজ** (30%)। লোহা বা কাঠের বড়ো বড়ো ঢাকনা দেওয়া পাত্রে ঝোলা গুড় নেওয়া হয়, ঢাকনার মুখে CO_2 বের হওয়ার জন্য নল থাকে।

(ii) এতে **লঘু সালফিউরিক অ্যাসিড** মিশিয়ে সামান্য আম্লিক করা হয়। এর ফলে ইস্টের কর্মক্ষমতা বেড়ে যায়, আর অপ্রয়োজনীয় ব্যাকটিরিয়ার (Bacteria) বৃদ্ধি বন্ধ হয়।

(iii) ইস্টের পুষ্টির জন্য **সামান্য পরিমাণ অ্যামোনিয়াম সালফেট, অ্যামোনিয়াম ফসফেট** ইত্যাদি মেশানো হয়।

(iv) মিশ্রণকে 25°C—30°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করে ইস্ট মেশানো হয়। অল্প সময়ের মধ্যেই সন্ধান বিক্রিয়া শুরু হয়, ইথাইল অ্যালকোহল ও CO_2 গ্যাস উৎপন্ন হয়, CO_2 গ্যাস নির্গম নল দিয়ে বেরিয়ে যায়।

বিক্রিয়ার সময় **তাপমাত্রা 36°C-এর বেশি না হয়** সেদিকে বিশেষ লক্ষ রাখা দরকার। এই পাত্রগুলিকে মাঝে মাঝে জল দিয়ে ঠান্ডা করা হয়। বিক্রিয়াটি সম্পূর্ণ হতে প্রায় চারদিন সময় লাগে।

(v) এই পরিবেশে ইস্টের দেহ থেকে যে নাইট্রোজেন ঘটিত জটিল যৌগ উৎপন্ন হয় তাকে ইনভার্টেজ (invertase) বলে। **এনজাইম ইনভার্টেজ ঝোলা গুড়ের সুক্রোজকে গ্লুকোজ ও ফ্রুকটোজে পরিণত করে।**

$$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \xrightarrow{\text{ইনভার্টেজ}} \underset{\text{গ্লুকোজ}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{ফ্রুকটোজ}}{C_6H_{12}O_6}$$

(vi) সুক্রোজ এইভাবে গ্লুকোজে পরিণত হলে, তখনই ইস্টের দেহ থেকে **এনজাইম জাইমেজ** উৎপন্ন হতে থাকে। এই এনজাইম জাইমেজ, গ্লুকোজ ও ফ্রুকটোজকে ইথাইল অ্যালকোহল ও কার্বন ডাইঅক্সাইডে বিয়োজিত করে।

$$C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{জাইমেজ}} 2C_2H_5OH + 2CO_2$$

সন্ধান প্রক্রিয়ায় 7%—10% **ইথাইল অ্যালকোহল দ্রবণ পাওয়া যায়**, একে **'ওয়াশ'** (wash) বলে।

[B] আংশিক পাতন (Fractional Distillation) ঃ এইভাবে প্রাপ্ত ওয়াশকে **কফি স্টিল** নামে আংশিক পাতন যন্ত্রে নিয়ে বার বার আংশিক পাতন করা হয়। এর ফলে প্রায় 90% ইথাইল অ্যালকোহল পাওয়া যায়।

90% অ্যালকোহল আবার পাতিত করলে তিন রকম পাতিত দ্রব্য পাওয়া যায়।

(i) প্রথম অংশে অ্যাসিট্যালডিহাইড থাকে।

(ii) দ্বিতীয় অংশে 93%—95% ইথাইল অ্যালকোহল পাওয়া যায়। একে **রেকটিফায়েড স্পিরিট** (Rectified spirit) বলে।

(iii) তৃতীয় অর্থাৎ শেষ অংশকে ফিউজেল অয়েল (Fusel oil) বলে। এতে প্রধানত অ্যামাইল অ্যালকোহল, আইসো অ্যামাইল অ্যালকোহল, নর্মাল প্রোপাইল অ্যালকোহল, আইসো বিউটাইল অ্যালকোহল থাকে।

● **রেকটিফায়েড স্পিরিট** (Rectified spirit) ঃ ইথাইল অ্যালকোহলের লঘু জলীয় দ্রবণ আংশিক পাতনের সাহায্যে গাঢ় করলে শেষ পর্যন্ত ওজন অনুসারে 95·57% ইথাইল অ্যালকোহল এবং 4·43% জলের মিশ্রণ পাওয়া যায়। এই মিশ্রণকে রেকটিফায়েড স্পিরিট বলে। আংশিক পাতনের সাহায্যে এর থেকে বেশি গাঢ়ত্বের ইথাইল অ্যালকোহল প্রস্তুত করা যায় না। কারণ এই মিশ্রণ একটি স্থির স্ফুটনাঙ্কী মিশ্রণ —মিশ্রণটি 78·15° তাপমাত্রায় পাতিত হয়। স্থির স্ফুটনাঙ্কী মিশ্রণকে **অ্যাজিওট্রপিক মিশ্রণ** বলে।

[C] অ্যাবসলিউট অ্যালকোহল বা নির্জল অ্যালকোহল ঃ প্রস্তুতি ঃ (i) রেকটিফায়েড স্পিরিটে উপযুক্ত পরিমাণ পোড়া চুন (CaO) যোগ করা হয়। মিশ্রণকে প্রায় 6 ঘন্টা রিফ্লাক্স করে চব্বিশ ঘণ্টা রেখে দেওয়া হয়। (CaO জলের সঙ্গো বিক্রিয়া করে জল দূরীভূত করে $CaO + H_2O = Ca(OH)_2$)। তারপর মিশ্রণকে ধীরে ধীরে পাতিত করে ইথাইল অ্যালকোহল সংগ্রহ করা হয়। এইভাবে প্রায় 99·95% ইথাইল অ্যালকোহল পাওয়া যায়। এই অ্যালকোহলকেই নির্জল অ্যালকোহল (Absolute alcohol) বলে। নির্জল অ্যালকোহল ভালভাবে আটকায় এমন ছিপিযুক্ত বোতলে রাখা হয়।

[অনার্দ্র ক্যালশিয়াম ক্লোরাইড ইথাইল অ্যালকোহলকে জলমুক্ত করতে ব্যবহার করা যায় না, কারণ অনার্দ্র $CaCl_2$ ইথাইল অ্যালকোহলের সঙ্গো যুত যৌগ $CaCl_2, nC_2H_5OH$ উৎপন্ন করে।]

(ii) রেকটিফায়েড স্পিরিটের সঙ্গো উপযুক্ত পরিমাণ বেনজিন মিশিয়ে পাতিত করলে অ্যাবসলিউট অ্যালকোহল পাওয়া যায়। এই পদ্ধতিকে **অ্যাজিওট্রপিক পাতন** (Azeotropic Distillation) বলা হয়।

এই পাতনের প্রথম অংশ 64·9°C তাপমাত্রায় পাতিত হয়। এই অংশে বেনজিন (74·1%), জল (7·4%) ও ইথাইল অ্যালকোহল (18·5%) থাকে। দ্বিতীয় অংশ 68·25°C উষ্ণতায় পাতিত হয়। এর মধ্যে 67·6% বেনজিন এবং 32·4% ইথাইল অ্যালকোহল থাকে। এইভাবে সমস্ত বেনজিন দূর হয়। শেষ অংশ 78·3°C উষ্ণতায় পাতিত হয়। এই অংশই হল **অ্যাবসলিউট অ্যালকোহল**।

● **ইথাইল অ্যালকোহলে জলের উপস্থিতি পরীক্ষা ঃ** ইথাইল অ্যালকোহলের মধ্যে খুব সামান্য পরিমাণ জল থাকলেও, এর সঙ্গো অনার্দ্র সাদা $CuSO_4$ যোগ করলে অনার্দ্র $CuSO_4$ নীল ($CuSO_4, 5H_2O$) হয়ে যায়।

(3) স্টার্চ থেকে ইথাইল অ্যালকোহল (Ethyl alcohol from starchy materials) ঃ

(a) আলু, গম, চাল, ভুট্টা, যব, রাই প্রভৃতিতে প্রচুর পরিমাণে স্টার্চ আছে। **স্টার্চ থেকে ইথাইল অ্যালকোহল** প্রস্তুত করা হয়। স্টার্চকে সরাসরি ইস্ট দিয়ে অ্যালকোহলে পরিণত করা যায় না।

(i) প্রথমে **ডায়াসটেজ** (Diastase) নামে একপ্রকার এনজাইম দিয়ে স্টার্চকে **মল্টোজে** (Maltose) পরিণত করা হয়। উষ্ণতা 50°C রাখা হয়।

$$\underset{\text{স্টার্চ}}{2(C_6H_{10}O_5)_n} + nH_2O \xrightarrow[50°C]{\text{ডায়াসটেজ}} \underset{\text{মল্টোজ}}{n(C_{12}H_{22}O_{11})}$$

(ii) মল্টোজ উৎপন্ন হলে 30°C উষ্ণতায় ইস্ট যোগ করা হয়, এর ফলে ইস্টের দেহ থেকে এনজাইম **মল্টেজ** (Maltase) উৎপন্ন হয়। এই মল্টেজ এনজাইম মল্টোজকে গ্লুকোজে পরিণত করে।

$$\underset{\text{মল্টোজ}}{C_{12}H_{22}O_{11}} + H_2O \xrightarrow[50°C]{\text{মল্টেজ}} \underset{\text{গ্লুকোজ}}{2C_6H_{12}O_6}$$

(iii) গ্লুকোজ উৎপন্ন হলে ইস্টের দেহ থেকে এনজাইম জাইমেজ নির্গত হয়ে গ্লুকোজকে ইথাইল অ্যালকোহলে পরিণত করে এবং CO_2 নির্গত হয়।

$$C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{জাইমেজ}} 2C_2H_5OH + 2CO_2$$

(b) খোসা ছাড়ানো আলু বা অন্য স্টার্চ জাতীয় পদার্থকে উচ্চ চাপে স্টিম দিয়ে উত্তপ্ত করে লেই (Paste) তৈরি করা হয়। ঠান্ডা করে লেইটির সঙ্গো **মল্ট** (Malt) মেশানো হয়। মল্ট প্রকৃতপক্ষে অঙ্কুরিত যবচূর্ণ। মল্টে স্টার্চ বিশ্লেষণকারী এনজাইম ডায়াসটেজ আছে। স্টার্চ আর্দ্রবিশ্লিষ্ট হয়ে মল্টোজে পরিণত হয়। বিক্রিয়াটি 50°C তাপমাত্রায় সম্পন্ন করা হয়। বিক্রিয়াটি সম্পূর্ণ হতে আধঘণ্টা সময় লাগে। তারপর মল্টোজকে ফুটানো হয়, পরে 15°C তাপমাত্রায় ঠান্ডা করে এর সঙ্গো ইস্ট মেশানো হয়। ঢাকনাযুক্ত বড়ো বড়ো কাঠের পাত্রে বিক্রিয়াটি সম্পন্ন করা হয়।

সন্ধান-বিক্রিয়া প্রায় তিনদিনে সম্পূর্ণ হয় এবং 6%—10% ইথাইল অ্যালকোহলের জলীয় দ্রবণ পাওয়া যায়। অ্যালকোহলের এই জলীয় দ্রবণকে কফি স্টিলের সাহায্যে রেকটিফায়েড স্পিরিটে পরিণত করা হয়।

(4) অ্যাসিটিলিন থেকে ইথাইল অ্যালকোহল (Ethyl alcohol from Acetylene) ঃ 60ºC—80ºC উষ্ণতায় 20% H_2SO_4 দ্রবণের ভিতর দিয়ে HgO-এর উপস্থিতিতে C_2H_2 গ্যাস চালনা করলে প্রথমে C_2H_2 জারিত হয়ে অ্যাসিট্যালডিহাইড উৎপন্ন হয়। উৎপন্ন অ্যাসিট্যালডিহাইডকে Ni চূর্ণের উপস্থিতিতে H_2 দ্বারা বিজারিত করলে ইথাইল অ্যালকোহল পাওয়া যায়।

$$\underset{\text{অ্যাসিটিলিন}}{H—C\equiv C—H} + H_2O \xrightarrow[HgO]{20\%\ H_2SO_4} CH_3CHO \xrightarrow[\text{Ni cat}]{H_2} \underset{\text{ইথানল}}{CH_3CH_2OH}$$

4.17. ইথাইল অ্যালকোহলের ধর্ম ও বিক্রিয়া [Properties of Ethyl Alcohol and Reactions]

I. ভৌত ধর্ম (Physical Properties) ঃ

(i) ইথাইল অ্যালকোহল বর্ণহীন মিষ্টি গন্ধযুক্ত তরল পদার্থ, **(ii)** স্ফুটনাঙ্ক 78·3ºC, গলনাঙ্ক (–114ºC)। নিম্ন তাপমাত্রায় এই দীর্ঘ উষ্ণতার ব্যবধান তরল অবস্থায় থাকে বলে নিম্ন তাপমাত্রা মাপার তাপমান যন্ত্রে ইথাইল অ্যালকোহল ব্যবহার করা হয়। **(iii)** ইথাইল অ্যালকোহল জলের চেয়ে হালকা, আপেক্ষিক গুরুত্ব = 0·78, **(iv)** সম্পূর্ণভাবে জলের সঙ্গে মিশে যায় এবং মিশ্রণের আয়তন কমে যায়। অক্সিজেনের সঙ্গে নীল শিখায় জ্বলে। বহু জৈব যৌগকে দ্রবীভূত করে।

II. রাসায়নিক বিক্রিয়া (Chemical reactions) ঃ

[A] —OH গ্রুপের H পরমাণুর বিক্রিয়া (Reaction of H atom of —OH Group) ঃ

(i) সোডিয়াম, পটাশিয়াম প্রভৃতি ধাতুর সঙ্গে সাধারণ উষ্ণতায় বিক্রিয়া ঘটে হাইড্রোজেন নির্গত হয় ও **ইথক্সাইড** (Ethoxide) যৌগ উৎপন্ন হয়।

$$2C_2H_5OH + 2Na \longrightarrow \underset{\text{সোডিয়াম ইথক্সাইড}}{2C_2H_5ONa} + H_2$$

(ii) অ্যাসিটাইলেশন ঃ ইথাইল অ্যালকোহল অ্যাসিটাইল ক্লোরাইড বা অ্যাসিটিক অ্যানহাইড্রাইডের সঙ্গে বিক্রিয়ায় ইথাইল অ্যাসিটেট (এস্টার) উৎপন্ন করে।

$$CH_3COCl + C_2H_5OH \rightarrow CH_3COOC_2H_5 + HCl$$

$$CH_3COOCOCH_3 + C_2H_5OH \rightarrow CH_3COOC_2H_5 + CH_3COOH$$

(iii) গ্রিগনার্ড বিকারকের সঙ্গে ঃ গ্রিগনার্ড বিকারকের সঙ্গে ইথাইল অ্যালকোহল মিথেন উৎপন্ন করে।

$$C_2H_5O\boxed{H + CH_3}MgI \rightarrow CH_4 + C_2H_5OMgI$$

[B] —OH মূলকের বিক্রিয়া (Reaction of —OH group) ঃ

(i) হ্যালোজেন অ্যাসিডের সঙ্গে ঃ (a) অনার্দ্র $ZnCl_2$-এর উপস্থিতিতে **ইথানলের সঙ্গে হাইড্রোজেন ক্লোরাইডের** বিক্রিয়া ঘটে **ইথাইল ক্লোরাইড** উৎপন্ন হয়।

$$\underset{\text{ইথানল}}{CH_3CH_2}\boxed{OH + H}Cl \xrightarrow{ZnCl_2} \underset{\text{ইথাইল ক্লোরাইড}}{CH_3CH_2Cl} + H_2O$$

(b) উষ্ণ এবং গাঢ় HI-এর সঙ্গে লাল P-এর উপস্থিতিতে বিজারণ ঘটে ইথেন উৎপন্ন হয়।

$$C_2H_5OH + 2HI \xrightarrow{\text{লাল P}} C_2H_6 + I_2 + H_2O$$

(ii) গ্লেসিয়াল অ্যাসিটিক অ্যাসিডের সঙ্গে ঃ গাঢ় H_2SO_4-এর উপস্থিতিতে ইথাইল অ্যালকোহল গ্লেসিয়াল অ্যাসিটিক অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়া করে **ইথাইল অ্যাসিটেট** (এস্টার) উৎপন্ন করে।

$$CH_3COOH + C_2H_5OH \xrightarrow{\text{গাঢ় } H_2SO_4} CH_3COOC_2H_5 + H_2O$$

(iii) PCl_5, PCl_3 অথবা $SOCl_2$-এর সঙ্গে ঃ ফসফরাস পেন্টা ক্লোরাইড এবং ট্রাই ক্লোরাইডের সঙ্গে বিক্রিয়ায় অ্যালকোহলের —OH গ্রুপ ক্লোরিন দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে **ইথাইল ক্লোরাইড** যৌগ উৎপন্ন করে।

$$C_2H_5OH + PCl_5 \longrightarrow C_2H_5Cl + POCl_3 + HCl$$

$$3C_2H_5OH + PCl_3 \longrightarrow 3C_2H_5Cl + H_3PO_3$$
$$C_2H_5OH + SOCl_2 \longrightarrow C_2H_5Cl + SO_2 + HCl$$

(iv) লাল ফসফরাসের উপস্থিতিতে **ব্রোমিন** এবং **আয়োডিনের** সঙ্গে বিক্রিয়া ঘটে যথাক্রমে **ইথাইল ব্রোমাইড** এবং **ইথাইল আয়োডাইড** উৎপন্ন হয়।

$$2P + 3Br_2 = 2PBr_3$$
$$3C_2H_5OH + PBr_3 \longrightarrow 3C_2H_5Br + H_3PO_3$$

[C] নিরুদন বিক্রিয়া (Dehydration) ঃ

(i) গাঢ় H_2SO_4-এর সঙ্গে ঃ

(a) 100°C উষ্ণতায় ইথাইল অ্যালকোহলের সঙ্গে গাঢ় H_2SO_4-এর বিক্রিয়ায় **ইথাইল হাইড্রোজেন সালফেট** উৎপন্ন হয়।

$$C_2H_5\boxed{OH + H}HSO_4 \xrightarrow{100^{\circ}C} C_2H_5HSO_4 + H_2O$$

(b) উৎপন্ন ইথাইল হাইড্রোজেন সালফেটের সঙ্গে অতিরিক্ত ইথাইল অ্যালকোহলের বিক্রিয়ায় 130°C—140°C **উষ্ণতায় ডাই-ইথাইল ইথার উৎপন্ন হয়।**

$$C_2H_5OH + H.HSO_4 \xrightarrow{100^{\circ}C} C_2H_5—HSO_4 + H_2O$$
$$C_2H_5HSO_4 + C_2H_5OH \xrightarrow{100^{\circ}C} \underset{\text{ডাই-ইথাইল ইথার}}{C_2H_5—O—C_2H_5} + H_2SO_4$$

(c) অতিরিক্ত গাঢ় H_2SO_4-এর সঙ্গে 170°C উষ্ণতায় ইথিলিন উৎপন্ন হয়।

$$C_2H_5OH + HHSO_4 \xrightarrow{100^{\circ}C} C_2H_5HSO_4 + H_2O$$
$$C_2H_5HSO_4 \xrightarrow{100^{\circ}C} \underset{\text{ইথিলিন}}{H_2C = CH_2} + H_2SO_4$$

(ii) ইথাইল অ্যালকোহল বাষ্পকে 300°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত অ্যালুমিনার উপর দিয়ে চালনা করলে **ইথিলিন** উৎপন্ন হয়।

$$C_2H_5OH \xrightarrow[Al_2O_3]{300^{\circ}C} C_2H_4 + H_2O$$

[D] জারণ-বিক্রিয়া (Oxidation) ঃ (i) অ্যালকোহলকে বায়ুতে দহন করলে CO_2 এবং জলীয় বাষ্প উৎপন্ন হয়।

$$C_2H_5OH + 3O_2 \rightarrow 2CO_2\uparrow + 3H_2O$$

(ii) পটাশিয়াম ডাইক্রোমেট এবং গাঢ় H_2SO_4-এর মিশ্রণের সঙ্গে ইথাইল অ্যালকোহল মিশিয়ে উত্তপ্ত করলে জারিত হয়ে প্রথমে **অ্যাসিট্যালডিহাইড** পরে আরও জারিত হয়ে **অ্যাসিটিক অ্যাসিডে** পরিণত হয়।

$$CH_3CH_2OH \xrightarrow[K_2Cr_2O_7/H_2SO_4]{[O]} \underset{\text{অ্যাসিট্যালিডিহাইড}}{CH_3CHO + H_2O}$$
$$CH_3CHO \xrightarrow[K_2Cr_2O_7/H_2SO_4]{[O]} \underset{\text{অ্যাসিটিক অ্যাসিড}}{CH_3COOH}$$

(iii) ইথাইল অ্যালকোহল বাষ্পকে 300°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত সিলভার বা কপারের উপর চালনা করলে জারিত হয়ে অ্যাসিট্যালডিহাইডে পরিণত হয়।

$$C_2H_5OH \xrightarrow[Cu]{300^{\circ}C} CH_3CHO + H_2$$

(iv) ইথাইল অ্যালকোহল **ক্লোরিন দ্বারা জারিত হয়ে** প্রথমে **অ্যাসিট্যালডিহাইড** উৎপন্ন করে। পরে আরও জারিত হয়ে **ট্রাইক্লোরো অ্যাসিট্যালডিহাইড** (ক্লোরাল) উৎপন্ন করে।

$$CH_3CH_2OH \xrightarrow{Cl_2} CH_3CHO + 2HCl \quad ; \quad CH_3CHO \xrightarrow{3Cl_2} \underset{\text{ক্লোরাল}}{CCl_3CHO} + 3HCl$$

(E) হ্যালোফর্ম বিক্রিয়া (Haloform reaction) ঃ ইথাইল অ্যালকোহল হ্যালোজেন দ্বারা জারিত হয়ে কিটো মিথাইলে (CH_3—CO—) মূলকে পরিণত হয়, তাই হ্যালোফর্ম বিক্রিয়ায় অংশ গ্রহণ করতে পারে।

ইথাইল অ্যালকোহলে **আয়োডিন** এবং **কস্টিক সোডা দ্রবণ** মিশিয়ে উত্তপ্ত করলে বিশেষ গন্ধযুক্ত **হলুদ রঙের আয়োডোফর্ম** (CHI_3) উৎপন্ন হয়। এই বিক্রিয়া দ্বারা ইথাইল অ্যালকোহল শনাক্ত করা যায়।

$$C_2H_5OH + 4I_2 + 6NaOH \rightarrow CHI_3 + HCOONa + 5NaI + 5H_2O$$

4.18. ইথাইল অ্যালকোহলের ব্যবহার [Uses of Ethyl Alcohol]

(i) ইথার, অ্যাসেটিক অ্যাসিড, ক্লোরোফর্ম, আয়োডোফর্ম প্রভৃতি যৌগ প্রস্তুত করতে, **(ii)** টিংচার, টনিক ও বিভিন্ন বলকারী ওষুধ প্রস্তুতিতে, **(iii)** পেট্রোলের সঙ্গে মিশিয়ে মোটরের জ্বালানি হিসাবে, **(iv)** বেনজিন, গাম প্রভৃতির দ্রাবক হিসাবে, **(v)** মেথিলেটেড স্পিরিট প্রস্তুতিতে, বার্ণিশের কাজে এর প্রচুর ব্যবহার, **(vi)** সুগন্ধি দ্রব্য প্রস্তুতিতে এবং পানীয় রূপে এর ব্যবহার প্রচুর।

● **মেথিলেটেড স্পিরিট বা ডিনেচারড স্পিরিট** (Methylated spirit or Denatured spirit) ঃ

ইথাইল অ্যালকোহল পানীয় হিসাবে ব্যবহৃত হয় বলে এর উপর বেশি করে আবগারী কর (Excise Duty) ধার্য করা হয়। কিন্তু শিল্পে ইথাইল অ্যালকোহলের প্রচুর ব্যবহার আছে। শিল্পে ব্যবহারের জন্য ইথাইল অ্যালকোহল যেন সস্তায় পাওয়া যায় তার জন্য একে পানের সম্পূর্ণ অযোগ্য করা হয়; এটা করার জন্য রেকটিফায়েড স্পিরিটের সঙ্গে নানা ধরনের বিষাক্ত পদার্থ মেশানো হয়। যেমন, **মিথাইল অ্যালকোহল** (উড়্‌স্পিরিট), **ন্যাপথা, পিরিডিন, রবার নির্যাস** প্রভৃতি। মিথাইল অ্যালকোহলযুক্ত এইরকম অ্যালকোহলের নাম **ডিনেচারড স্পিরিট**। যদি ইথাইল অ্যালকোহলে মিথাইল অ্যালকোহলের পরিমাণ 10%-এর মতো থাকে, তবে তাকে সাধারণত মেথিলেটেড স্পিরিট বলা হয়। মেথিলেটেড স্পিরিট নানা কাজে ব্যবহৃত হয়। যেমন, পেইন্ট বার্ণিশের দ্রাবকরূপে, জ্বালানি হিসাবে এবং স্টোভ ধরাতে মেথিলেটেড স্পিরিট ব্যবহৃত হয়।

4.19. ইথাইল অ্যালকোহলের শনাক্তকরণ [Test for Ethyl alcohol]

(i) ইথাইল অ্যালকোহলের সহেগ আয়োডিন এবং গাঢ় NaOH দ্রবণ মিশিয়ে উত্তপ্ত করলে তীব্র গন্ধযুক্ত হলুদ রঙের আয়োডোফর্মের কেলাস উৎপন্ন হয়।

$$C_2H_5OH + 4I_2 + 6NaOH \rightarrow CHI_3\downarrow + 5NaI + HCOONa + 5H_2O$$

(ii) গাঢ় H_2SO_4-এর উপস্থিতিতে ইথাইল অ্যালকোহলের সঙ্গে গ্লেসিয়াল অ্যাসিটিক অ্যাসিড মিশিয়ে তাপ দিলে পাকা কলার গন্ধবিশিষ্ট ইথাইল অ্যাসিটেট এস্টার উৎপন্ন হয়।

$$C_2H_5OH + CH_3COOH \xrightarrow{H_2SO_4} CH_3COOC_2H_5 + H_2O$$

● **মিথাইল অ্যালকোহল এবং ইথাইল অ্যালকোহলের মধ্যে পার্থক্য নির্ণায়ক পরীক্ষা ঃ**

পরীক্ষা	মিথাইল অ্যালকোহল	ইথাইল অ্যালকোহল
(1) আয়োডোফর্ম পরীক্ষা ঃ আয়োডিন এবং NaOH-এর জলীয় দ্রবণে পরীক্ষাধীন অ্যালকোহল যোগ করে উত্তপ্ত করার পর ঠান্ডা করা হল।	কোনো অধঃক্ষেপ পাওয়া যায় না বা আয়োডোফর্মের তীব্র গন্ধ পাওয়া যায় না।	তীব্র গন্ধবিশিষ্ট আয়োডোফর্ম অধঃক্ষিপ্ত হয়। $C_2H_5OH + 6NaOH + H_2 \rightarrow CHI_3\downarrow + HCOONa + 5NaI + 5H_2O$
(2) পরীক্ষাধীন অ্যালকোহলের সঙ্গে স্যালিসাইলিক অ্যাসিড এবং গাঢ় H_2SO_4 যোগ করে উত্তপ্ত করা হল।	মিথাইল স্যালিসাইলেট উৎপন্ন হয়, যার গন্ধ আয়োডেক্সের মতো।	ইথাইল স্যালিসাইলেট উৎপন্ন হয়, যার বিশেষ কোনো গন্ধ নেই।

● **ইথাইল অ্যালকোহল এবং ক্লোরোফর্মের পার্থক্য নির্ণায়ক পরীক্ষা ঃ**

পরীক্ষা	ক্লোরোফর্ম	ইথাইল অ্যালকোহল
(1) আয়োডোফর্ম পরীক্ষা ঃ পরীক্ষাধীন তরলের সঙ্গে আয়োডিন এবং NaOH দ্রবণ যোগ করে উত্তপ্ত করার পর ঠান্ডা করা হল।	কোনো অধঃক্ষেপ পড়ে না অর্থাৎ আয়োডোফর্ম উৎপন্ন হয় না।	তীব্র গন্ধবিশিষ্ট আয়োডোফর্মের অধঃক্ষেপ পাওয়া যায়। $C_2H_5OH + 6NaOH + 4I_2 \rightarrow CHI_3 + HCOONa + 5NaI + 5H_2O$

পরীক্ষা	ক্লোরোফর্ম	ইথাইল অ্যালকোহল
(2) কার্বিল অ্যামিন বিক্রিয়া ঃ পরীক্ষাধীন তরলের সঙ্গে অ্যানিলিন বেং অ্যালকোহলীয় KOH যোগ করে উত্তপ্ত করা হল।	ফিনাইল আইসোসায়ানাইডের তীব্র দুর্গন্ধ পাওয়া গেল। $C_6H_5NH_2 + 3KOH + CHCl_3 \rightarrow C_6H_5NC + 3KCl + 3H_2O$.	বিক্রিয়া হয় না তাই ফিনাইল আইসোসায়ানাইডের তীব্র দুর্গন্ধ পাওয়া যায় না।

● মিথাইল অ্যালকোহল এবং ক্লোরোফর্মের পার্থক্য নির্ণায়ক পরীক্ষা ঃ

পরীক্ষা	ক্লোরোফর্ম	মিথাইল অ্যালকোহল
(1) কার্বিল অ্যামিন পরীক্ষা ঃ পরীক্ষাধীন তরলের সঙ্গে অ্যানিলিন এবং অ্যালকোহলীয় KOH যোগ করে উত্তপ্ত করা হল।	ফিনাইল আইসোসায়ানাইডের তীব্র দুর্গন্ধ পাওয়া গেল। $C_6H_5NH_2 + 3KOH + CHCl_3 \rightarrow C_6H_5NC + 3KCl + 3H_2O$.	মিথাইল অ্যালকোহল বিক্রিয়া করে না, তাই আইসোসায়ানাইডের তীব্র দুর্গন্ধ পাওয়া যায় না।
(2) পরীক্ষাধীন তরলের সঙ্গে স্যালিসাইলিক অ্যাসড এবং গাঢ় H_2SO_4 যোগ করে উত্তপ্ত করা হল।	আয়োডেক্সের গন্ধ পাওয়া গেল না।	মিথাইল স্যালিসাইলেটের অর্থাৎ অয়েল অফ উন্টার গ্রিনের গন্ধ (আয়োডেক্সের মতো গন্ধ) পাওয়া গেল। অর্থাৎ মিথাইল স্যালিসাইলেট উৎপন্ন হয়।

● উচ্চতর অ্যালকোহলকে নিম্নতর অ্যালকোহলে রূপান্তরিতকরণ ঃ ইথানল থেকে মিথানল

(i) $\underset{\text{ইথানল}}{CH_3CH_2OH} \xrightarrow[160°C]{\text{গাঢ় } H_2SO_4} \underset{\text{ইথিলিন}}{H_2C{=}CH_2} \xrightarrow{O_2} \underset{\text{ইথিলিন ওজোনাইড}}{H_2C(-O-)(O-O)CH_2} \xrightarrow{H_2O/Zn} \underset{\text{ফর্ম্যালডিহাইড}}{2HCHO} \xrightarrow{[H]\ LiAlH_4} \underset{\text{মিথানল}}{CH_3OH}$

(ii) $\underset{\text{ইথানল}}{CH_3CH_2OH} \xrightarrow{[O]} \underset{\text{অ্যাসিট্যালডিহাইড}}{CH_3CHO} \xrightarrow{[O]} \underset{\text{অ্যাসিটিক অ্যাসিড}}{CH_3COOH} \xrightarrow{PCl_5} \underset{\text{অ্যাসিট্যাল ক্লোরাইড}}{CH_3COCl} \xrightarrow{NH_3} \underset{\text{অ্যাসিট্যামাইড}}{CH_3CONH_2} \xrightarrow{KOH/Br_2} \underset{\text{মিথাইল অ্যামিন}}{CH_3NH_2} \xrightarrow{HNO_2} \underset{\text{মিথাইল}}{CH_3OH}$

(2) নিম্নতর অ্যালকোহল থেকে উচ্চতর অ্যালকোহলে রূপান্তরিতকরণ ঃ মিথানল থেকে ইথানল।

$\underset{\text{মিথানল}}{CH_3OH} \xrightarrow[I_2]{\text{লাল P}} \underset{\text{মিথাইল আয়োডাইড}}{CH_3I} \xrightarrow{KCN} \underset{\text{মিথাইল সায়নাইড}}{CH_3CN} \xrightarrow[\text{অ্যালকোহল}]{Na} \underset{\text{ইথাইল অ্যামিন}}{CH_3CH_2NH_2} \xrightarrow[HCl]{NaNO_2} \underset{\text{ইথানল}}{CH_3CH_2OH}$

(3) প্রাইমারি অ্যালকোহল থেকে সেকেন্ডারি অ্যালকোহল— 1-প্রোপানল থেকে 2-প্রোপানল ঃ

$\underset{\text{1-প্রোপানল}}{CH_3CH_2CH_2OH} \xrightarrow{PI_3} \underset{\text{প্রোপাইল আয়োডাইড}}{CH_3CH_2CH_2I} \xrightarrow[\text{অ্যালকোহল}]{KOH} \underset{\text{প্রোপিন}}{CH_3{-}CH{=}CH_2} \xrightarrow{HBr} \underset{\text{2-ব্রোমোপ্রোপেন}}{CH_3{-}CHBr{-}CH_3} \xrightarrow[\text{জলীয় দ্রবণ}]{KOH} \underset{\text{2-প্রোপানল}}{CH_3{-}CH(OH){-}CH_3}$

(4) সেকেন্ডারি অ্যালকোহল থেকে প্রাইমারি অ্যালকোহল— 2-প্রোপানল থেকে 1-প্রোপানল ঃ

$CH_3{-}CH(OH){-}CH_3 \xrightarrow{P/I_2} \underset{\text{2-আয়োডোপ্রোপেন}}{CH_3{-}CH(I){-}CH_3} \xrightarrow[\text{অ্যালকোহল}]{KOH} \underset{\text{প্রোপিন}}{CH_3{-}CH{=}CH_2} \xrightarrow{HBr \text{ এবং পারক্সাইড}} \underset{\text{1-ব্রোমোপ্রোপেন}}{CH_3{-}CH_2{-}CH_2Br} \xrightarrow[\text{জলীয় দ্রবণ}]{KOH} \underset{\text{1-প্রোপানল}}{CH_3{-}CH_2CH_2OH}$

(5) (a) সেকেন্ডারি অ্যালকোহল থেকে টারসিয়ারি অ্যালকোহল—আইসোপ্রোপাইল অ্যালকোহল থেকে টারসিয়ারি বিউটাইল অ্যালকোহল :

$$\underset{\text{আইসোপ্রোপাইল অ্যালকোহল}}{CH_3—CH(OH)—CH_3} \xrightarrow[{[O]}]{K_2Cr_2O_7/H_2SO_4} CH_3—CO—CH_3 \xrightarrow{CH_3MgI} (CH_3)_3COMgI \xrightarrow{H_2O} \underset{\text{টারসিয়ারি বিউটাইল অ্যালকোহল}}{(CH_3)_3COH}$$

(6) মিথাইল অ্যালকোহল থেকে ক্লোরোফর্ম : 2 নম্বর পদ্ধতি অনুযায়ী ইথানল তৈরি করে,

$$\underset{\text{ইথানল}}{CH_3CH_2OH} \xrightarrow[Ca(OCl)Cl]{Cl_2} \underset{\text{অ্যাসিট্যালডিহাইড}}{CH_3CHO} \xrightarrow{3Cl_2} \underset{\text{ক্লোরাল}}{CCl_3CHO} \xrightarrow{Ca(OH)_2} \underset{\text{ক্লোরোফর্ম}}{CHCl_3}$$

(7) ইথাইল অ্যালকোহল থেকে মিথেন, ইথেন, ইথিলিন এবং অ্যাসিটিলিন, অ্যাসিট্যালডিহাইড :

$$\boxed{\underset{\text{ইথাইল অ্যালকোহল}}{CH_3CH_2OH}} \xrightarrow[H_2SO_4]{180^\circ C} \boxed{\underset{\text{ইথিলিন}}{CH_2=CH_2}} \xrightarrow{Br_2} \underset{\text{ইথিলিন ডাই-ব্রোমাইড}}{Br—CH_2—CH_2—Br} \xrightarrow[\text{অ্যালকোহল}]{KOH} \boxed{\underset{\text{অ্যাসিটিলিন}}{HC\equiv CH}}$$

$$CH_2=CH_2 \xrightarrow{2H,\ Ni\ Cat} \boxed{\underset{\text{ইথেন}}{CH_3—CH_3}}$$

$$HC\equiv CH \xrightarrow{Hg^{++},\ 20\%\ H_2SO_4} \underset{\text{অ্যাসিট্যালডিহাইড}}{CH_3CHO} \xrightarrow{[O]} \underset{\text{অ্যাসিটিক অ্যাসিড}}{CH_3COOH} \xrightarrow{NaOH} \underset{\text{সো. অ্যাসিটেট}}{CH_3COONa} \xrightarrow[CaO\ \Delta]{NaOH} \boxed{\underset{\text{মিথেন}}{CH_4}}$$

(8) ইথানল থেকে n-বিউটেন :

$$\boxed{\underset{\text{ইথানল}}{CH_3CH_2OH}} \xrightarrow{\text{লাল } P/I_2} \underset{\text{ইথাইল আয়োডাইড}}{CH_3CH_2I} \xrightarrow[\text{Na ইথার}]{C_2H_5I} \boxed{\underset{n\text{-বিউটেন}}{CH_3CH_2—CH_2CH_3}}$$

• ইথার •

4.20. ইথার প্রস্তুতির সাধারণ পদ্ধতি [General methods of preparation of ether]

(1) অ্যালকোহলের নিরুদন দ্বারা : (i) গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড বা ফসফরিক অ্যাসিডের সঙ্গে অতিরিক্ত পরিমাণ অ্যালকোহল 140°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করলে সরল ইথার প্রস্তুত হয়।

$$R—OH + H—OR \xrightarrow[\text{গাঢ় } H_2SO_4]{140^\circ C} \underset{\text{ইথার}}{R—\ddot{O}—R} + H_2O$$

1° ও 2° অ্যালকোহল থেকে এই পদ্ধতিতে ইথার প্রস্তুত করা যায় কিন্তু **3° অ্যালকোহল থেকে প্রধানত অ্যালকিন উৎপন্ন হয়।**

(ii) অ্যালকোহল বাষ্পকে 240°C—260°C তাপমাত্রায় **উত্তপ্ত অ্যালুমিনা** (Al_2O_3) বা **থোরিয়ার** (ThO_2)-এর উপর দিয়ে চালনা করলে ইথার উৎপন্ন হয়।

$$\underset{\text{ইথানল}}{C_2H_5OH} + \underset{\text{ইথানল}}{HOC_2H_5} \xrightarrow[Al_2O_3]{260^\circ C} \underset{\text{ডাই-ইথাইল ইথার}}{C_2H_5—O—C_2H_5} + H_2O$$

এই পদ্ধতিতে সাধারণত প্রতিসম ইথার প্রস্তুত করা হয়।

(2) অ্যালকিল হ্যালাইড এবং শুষ্ক সিলভার অক্সাইড উত্তপ্ত করলে প্রতিসম ইথার প্রস্তুত হয়।

$$2\,R—I + Ag_2O \longrightarrow R—O—R + 2AgI$$

(3) উইলিয়ামসন সংশ্লেষণ (Williamson synthesis) **:**

অ্যালকোহলীয় সোডিয়াম বা পটাশিয়াম অ্যালকোক্সাইড ও অ্যালকিল হ্যালাইডের মিশ্রণকে উত্তপ্ত করলে ইথার উৎপন্ন হয়।

এই পদ্ধতিকে উইলিয়ামসন সংশ্লেষণ বলে। এই বিক্রিয়ায় অ্যালকিল হ্যালাইড হিসাবে ব্রোমাইড বা আয়োডাইড বেশি কার্যকরী। এই পদ্ধতিতে সরল ও মিশ্র উভয় প্রকার ইথারই প্রস্তুত করা যায়।

সরল বা প্রতিসম ইথার ঃ $R—ONa + R—X \longrightarrow R—O—R + NaX$

মিশ্র বা অপ্রতিসম ইথার ঃ $R—ONa + R'—X \longrightarrow R—O—R' + NaX$

যেমন ঃ সোডিয়াম মিথাক্সাইডের সঙ্গে ইথাইল আয়োডাইডের বিক্রিয়ায় মিথোক্সি ইথেন পাওয়া যায়।

$$CH_3ONa + C_2H_5I \longrightarrow CH_3—O—C_2H_5 + NaI$$

মিশ্র ইথার প্রস্তুতির এটি একটি উত্তম পদ্ধতি। মিশ্র ইথার প্রস্তুতির জন্য অ্যালকিল হ্যালাইড (R—X) যৌগটি প্রাইমারি অ্যালকিল হ্যালাইড হওয়া প্রয়োজন। অ্যালকোক্সাইড যৌগটি 1°, 2° বা 3° হতে পারে।

4.21. ইথারের সাধারণ ধর্ম [General properties of ether]

(A) ভৌত ধর্ম (Physical properties) ঃ **ডাই-মিথাইল ইথার ও মিথাইল ইথাইল ইথার** সাধারণ তাপমাত্রায় গ্যাসীয়; অন্যান্য ইথার তরল। ইথার প্রশম পদার্থ। প্রত্যেকেরই গন্ধ মিস্ট। কম আণবিক ওজনযুক্ত ইথারগুলি খুব উদ্‌বায়ী এবং দাহ্য।

ইথারকে H-পরমাণু শুধু কার্বন পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত থাকে তাই ইথার অণুগুলির মধ্যে আন্তর আণবিক H-বন্ধনী গঠিত হয় না। কিন্তু অ্যালকোহল অণুগুলি আন্তর আণবিক H-বন্ধনীর মাধ্যমে পরস্পর সংযুক্ত থাকে। তাই সমআণবিক ওজনের ইথারের স্ফুটনাঙ্ক অ্যালকোহলের থেকে কম হয়।

ইথার জলে সামান্য দ্রাব্য, সামান্য দ্রাব্যতার কারণ হল, ইথার অণু জলের সঙ্গে সামান্য H-বন্ধন গঠন করে দ্রবীভূত হয়।

$$\underset{\displaystyle R}{R—O}\,\ldots\ldots\,\underset{\displaystyle H}{H—O}$$

ইথার জলের চেয়ে হলকা। জৈব দ্রাবক যথা ক্লোরোফর্ম, বেনজিনে সহজেই মিশে যায়।

• ডাই-ইথাইল ইথার •

4.22. ডাই-ইথাইল ইথারের পরীক্ষাগার-প্রস্তুতি [Laboratory method of preparation of Di-ethyl ether]

(A) নীতি ঃ ল্যাবরেটরীতে **ইথাইল অ্যালকোহল ও গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় ডাই-ইথাইল ইথার প্রস্তুত করা হয়।** পদ্ধতিটিকে বিরামহীন ইথার উৎপাদন পদ্ধতি (Continuous Etherfification Process) বলা হয়। **অতিরিক্ত ইথাইল অ্যালকোহল ও গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের মিশ্রণকে 100°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করলে ইথার উৎপন্ন হয়।** বিক্রিয়াটি দুটি ধাপে সম্পন্ন হয়।

(i) প্রথমে **ইথানলের সঙ্গে গাঢ় H_2SO_4-এর বিক্রিয়ায় (100°C) ইথাইল হাইড্রোজেন সালফেট** উৎপন্ন হয়।

(ii) দ্বিতীয় ধাপে **ইথাইল হাইড্রোজেন সালফেটের সঙ্গে 140°C** উষ্ণতায় **অতিরিক্ত ইথানলের বিক্রিয়ায় ডাই-ইথাইল ইথার** উৎপন্ন হয়।

প্রথমে $C_2H_5\,\boxed{OH \;+\; H}\,HSO_4 \xrightarrow{100°C} C_2H_5HSO_4 + H_2O$

পরে $C_2H_5\,\boxed{HSO_4 \;+\; H}\,OC_2H_5 \xrightarrow{140°C} C_2H_5—O—C_2H_5 + H_2SO_4$

(B) পদ্ধতি ঃ একটি পাতন ফ্লাস্কে **সমআয়তনের গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড ও অন্তত 90% ইথাইল অ্যালকোহলের মিশ্রণ নেওয়া হয়।** ফ্লাস্কের মুখে একটি বিন্দুপাতী ফানেল ও থার্মোমিটার যুক্ত থাকে। ফ্লাস্কটির নির্গম নলের সঙ্গে একটি লিবিগ শীতক যুক্ত করা হয়, শীতকের অন্যপ্রান্তে আর একটি পাতন ফ্লাস্ক গ্রাহক হিসাবে যুক্ত করা থাকে। এই গ্রাহক পাতন ফ্লাস্কটির নির্গম-নলটিকে একটি রবারের নলের সঙ্গে যুক্ত করে রবার নলটিকে সিঙ্কের মধ্যে রাখা হয়, যেন ইথার-বাষ্প আগুনের সংস্পর্শে না আসতে পারে।

বিন্দুপাতী ফানেলে ইথাইল অ্যালকোহল নেওয়া হয়। ফ্লাস্কটিকে **বালিগাহের** উপর বসিয়ে উত্তপ্ত করা হয় এবং বিন্দুপাতী ফানেল থেকে ফোঁটা ফোঁটা ইথানল ফ্লাস্কের মধ্যে ফেলা হয়। উষ্ণতা 140°C-এর কাছাকাছি স্থির রাখা হয়। শীতকের ভেতর দিয়ে হিমশীতল জলের প্রবাহ চালনা করা হয় এবং গ্রাহকটিকে বরফে ঠান্ডা রাখা হয়। যখন তাপমাত্রা 140°C—145°C-এ

পৌঁছায় তখন ইথার নির্গত হতে শুরু করে এবং শীতকের মধ্য দিয়ে গ্রাহকে তরলরূপে জমা হয়। যে হারে ইথার পাতিত হয় সেই হারে বিন্দুপাতী ফানেল থেকে ফ্লাস্কের মধ্যে ইথাইল অ্যালকোহল যোগ করা হয়। পাতিত ইথার তরলরূপে গ্রাহক পাত্রে জমা হয়।

[C] বিশুদ্ধিকরণ ঃ গ্রাহকের মধ্যে এইভাবে সঞ্চিত ইথারের মধ্যে কিছু পরিমাণ **ইথাইল অ্যালকোহল, সালফার ডাইঅক্সাইড** এবং **জল** অশুদ্ধিরূপে বর্তমান থাকে। **(i)** একটি বিয়োজী ফানেলে উৎপন্ন ইথারকে নিয়ে 5% **কস্টিক সোডা দ্রবণ যোগ করে ঝাঁকানো হয়,** এর ফলে SO_2 **দ্রবীভূত হয়।** ফানেলের তরল পদার্থ দুটি স্তরে বিভক্ত হয়, উপরে ইথার, নীচে কস্টিক সোডা দ্রবণ। নীচের স্তরকে পৃথক করা হয়। **(ii)** পরে ইথারে গাঢ় **NaCl দ্রবণ** মিশিয়ে আলোড়িত করা হয়। এর ফলে ইথারের সঙ্গে মিশ্রিত **ইথাইল অ্যালকোহল, লবণজলে দ্রবীভূত হয়। (iii)** একে আলাদা করে ইথারকে একটি পাত্রে নিয়ে **অনার্দ্র ক্যালশিয়াম ক্লোরাইড** মিশিয়ে শুষ্ক করে জলগাহের উপর **পুনঃপাতিত করা হয়। (iv) ইথারকে সম্পূর্ণ জলমুক্ত করতে হলে** পাতিত ইথারকে **ধাতব সোডিয়ামের** সংস্পর্শে কয়েক দিন রেখে শুষ্ক পাত্রে পাতিত করলে সম্পূর্ণ জলমুক্ত ইথার পাওয়া যায়। বেনজোফেনোনকে নির্দেশক হিসাবে ব্যবহার করলে, ইথার থেকে সমস্ত জল অপসারিত হলেই বেনজোফেনোনের বর্ণ উজ্জ্বল গোলাপীতে পরিণত হয়।

(2) উইলিয়ামসনের সংশ্লেষণ পদ্ধতিতে সোডিয়াম ইথোক্সাইড ও ইথাইল আয়োডাইডের বিক্রিয়ায় ডাই-ইথাইল ইথার উৎপন্ন হয়। $C_2H_5O\,\boxed{Na + I}\,C_2H_5 \longrightarrow C_2H_5—O—C_2H_5 + NaI$

(3) ইথাইল অ্যালকোহল-বাষ্পকে 250°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত **অ্যালুমিনিয়াম অক্সাইডের** উপর দিয়ে চালনা করলে ইথার উৎপন্ন হয়। ইথার উৎপাদনের এটিও একটি শিল্প-পদ্ধতি।

$$2C_2H_5OH \xrightarrow[250°C]{Al_2O_3} C_2H_5—O—C_2H_5 + H_2O$$

(4) ইথাইল আয়োডাইডকে শুষ্ক Ag_2O **সহ উত্তপ্ত করলে** ডাই-ইথাইল ইথার পাতিত হয়।

$$2C_2H_5I + Ag_2O \longrightarrow C_2H_5—O—C_2H_5 + AgI$$

4.23. ডাই-ইথাইল ইথারের ধর্ম [Properties of Di-ethyl ether]

(A) ভৌত ধর্ম (Physical Properties) ঃ ডাই-ইথাইল ইথার বর্ণহীন, মিষ্ট গন্ধযুক্ত, খুব দাহ্য এবং উদ্‌বায়ী তরল পদার্থ। স্ফুটনাঙ্ক 34·5°C। জলের চেয়ে হালকা, জলে অদ্রাব্য বললেই হয়। বেঞ্জিন, ক্লোরোফর্ম এবং অ্যালকোহলে দ্রাব্য। বায়ুর সঙ্গে বিস্ফোরক মিশ্রণ গঠন করে। সহজেই আগুন লাগে বলে ইথারকে আগুন থেকে অনেক দূরে রাখা হয়।

(B) রাসায়নিক ধর্ম (Chemical Properties) ঃ

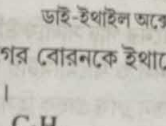
(1) অ্যালকিল মূলকের বিক্রিয়া (প্রতিস্থাপন বিক্রিয়া) ঃ ক্লোরিন এবং ব্রোমিনের সঙ্গে ডাই-ইথাইল ইথার প্রতিস্থাপন বিক্রিয়া করে α-ক্লোরো ডাই-ইথাইল এবং α, α-ডাই-ক্লোরো ডাই-ইথাইল ইথার উৎপন্ন করে।

$$CH_3CH_2—O—CH_2CH_3 \xrightarrow{Cl_2} \underset{\alpha\text{-ক্লোরো ডাই-ইথাইল ইথার}}{CH_3—CHCl—O—CH_2CH_3} + HCl \xrightarrow[-HCl]{Cl_2} \underset{\alpha,\alpha\text{-ডাই-ক্লোরো ডাই-ইথাইল ইথার}}{CH_3CHCl—O—CHClCH_3}$$

(2) অক্সোনিয়াম লবণ উৎপাদন ঃ গাঢ় H_2SO_4 এবং HCl-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে অক্সোনিয়াম লবণ উৎপন্ন করে।

$$C_2H_5—O—C_2H_5 + H_2SO_4 \rightarrow \underset{\text{ডাই-ইথাইল অক্সোনিয়াম হাইড্রোজেন সালফেট}}{[(C_2H_5)_2OH]^+HSO_4^-}$$

(3) ইথারেট যৌগ ঃ বোরন ট্রাই-হ্যালাইড (BX_3) যৌগের বোরনকে ইথারের অক্সিজেন ইলেকট্রন জোড় দান করে জটিল যৌগ উৎপন্ন করে। এই যুত যৌগগুলিকে ইথারেট বলা হয়।

$C_2H_5OC_2H_5 \rightarrow$ 

বোরন ট্রাই-ফ্লুওরাইড ইথারেট

(4) ফসফরাস পেন্টাক্লোরাইডের সঙ্গে শীতল অবস্থায় বিক্রিয়া করে না, কিন্তু **উত্তপ্ত অবস্থায় বিক্রিয়া করে ইথাইল ক্লোরাইড** উৎপন্ন করে। $C_2H_5—O—C_2H_5 + PCl_5 \rightarrow 2C_2H_5Cl + POCl_3$

(5) হাইড্রোজেন আয়োডাইডের সঙ্গে ঃ (i) 0^oC উষ্ণতায় **ইথাইল আয়োডাইড** এবং **অ্যালকোহল** উৎপন্ন করে।

$$C_2H_5—\boxed{O—C_2H_5 + H\ I} \rightarrow C_2H_5I + C_2H_5OH$$

(ii) গাঢ় HI-এর সঙ্গে বন্ধ নলে উত্তপ্ত করলে, ইথাইল আয়োডাইড উৎপন্ন হয়।

$$C_2H_5—O—C_2H_5 + 2HI \rightarrow 2C_2H_5I + H_2O$$

(6) H_2SO_4-এর সঙ্গে ঃ (i) লঘু H_2SO_4-এর সঙ্গে **বেশি চাপে ফোটালে আর্দ্র-বিশ্লেষিত হয়ে ইথাইল অ্যালকোহল** উৎপন্ন করে।

$$C_2H_5—O—C_2H_5 + H_2O \xrightarrow[\text{চাপ}]{H_2SO_4} 2C_2H_5OH$$

(ii) উত্তপ্ত এবং গাঢ় H_2SO_4-এর সঙ্গে ইথাইল হাইড্রোজেন সালফেট এবং অ্যালকোহল উৎপন্ন করে।

$$C_2H_5—\boxed{O—C_2H_5 + H}\ HSO_4 \longrightarrow C_2H_5OH + C_2H_5HSO_4$$

(7) পারক্সাইড যৌগ উৎপাদন ঃ সূর্যালোকে বায়ুর সংস্পর্শে **ইথার হাইড্রোপারক্সাইড ও পারক্সাইড** নামে খুব বিষাক্ত এবং বিস্ফোরক তরলে পরিণত হয়।

$$CH_3CH_2—\ddot{O}—CH_2CH_3 + O_2(\text{বায়ু}) \longrightarrow CH_3CH(O—OH)—\ddot{O}—CH_2CH_3 \longrightarrow CH_3CH_2—O—O—C_2H_5$$

1-ইথোক্সি-1-ইথাইল হাইড্রোপারক্সাইড; ইথার পারক্সাইড

এজন্য **ইথারকে সরু মুখবিশিষ্ট রঙিন বোতলে কালো মোড়া অবস্থায় রাখা হয়।**

● **ইথার পারক্সাইডের উপস্থিতি কীভাবে জানা যায় এবং কীভাবে ইথারকে পারক্সাইড মুক্ত করা যায়?**

চেতনানাশক রূপে যে ইথার ব্যবহার করা হয় তার মধ্যে ইথার পারক্সাইড থাকা একেবারেই অনুচিত। নীচের পরীক্ষার সাহায্যে ইথারের মধ্যে পারক্সাইডের উপস্থিতি জানা যায়। ইথারের নমুনায় পটাশিয়াম আয়োডাইডের জলীয় দ্রবণ এবং স্টার্চ যোগ করে ঝাঁকানো হয়। যদি স্টার্চ নীল বর্ণের হয়ে যায়, তাহলে বুঝতে হবে ইথারের নমুনাটিতে ইথার পারক্সাইড বর্তমান। পারক্সাইড, KI-কে I_2-তে জারিত করে এই মুক্ত I_2 স্টার্চকে নীল করে।

পারক্সাইডযুক্ত ইথারকে $FeSO_4$ দ্রবণ সহ ঝাঁকালে অথবা গাঢ় H_2SO_4 যোগ করে পাতিত করলে ইথারটি পারক্সাইড মুক্ত হয়।

(8) (i) অ্যাসিটাইল ক্লোরাইডের সঙ্গে বিক্রিয়ায় **ইথাইল অ্যাসিটেট** এবং **ইথাইল ক্লোরাইড** উৎপন্ন হয়।

$$CH_3COCl + C_2H_5—O—C_2H_5 \longrightarrow CH_3COOC_2H_5 + C_2H_5Cl$$

(ii) অ্যাসিটিক অ্যানহাইড্রাইডের সঙ্গে বিক্রিয়ায় ইথাইল অ্যাসিটেট উৎপন্ন হয়।

$$CH_3COOCOCH_3 + C_2H_5—O—C_2H_5 \longrightarrow 2CH_3COOC_2H_5$$

4.24. ডাই-ইথাইল ইথারের ব্যবহার [Uses of Di-ethyl ether]

(i) রেজিন (Resin), চর্বি, তেল প্রভৃতি জৈব পদার্থের দ্রাবকরূপে ইথার ব্যবহৃত হয়। **(ii)** অস্ত্র চিকিৎসায় চেতনানাশক ওষুধরূপে ইথার ব্যবহৃত হয়। **(iii)** ইথার ও অ্যালকোহলের মিশ্রণ পেট্রলের পরিবর্তে জ্বালানি হিসাবে ব্যবহৃত হয়। **(iv)** অপেক্ষাকৃত নিষ্ক্রিয় বলে ভার্জ এবং গ্রিগনার্ড বিক্রিয়ায় দ্রাবক হিসাবেও ইথারের ব্যবহার আছে। **(v)** বিভিন্ন জৈব পদার্থের জলীয় দ্রবণ থেকে পদার্থগুলিকে নিষ্কাশন করতে ইথার ব্যবহৃত হয়।

● **ইথার এবং মিথানলের মধ্যে পার্থক্য নির্ণায়ক পরীক্ষা ঃ**

পরীক্ষা	ইথার	মিথানল
(1) পরীক্ষাধীন তরলের সঙ্গে **ধাতব সোডিয়াম** যোগ করা হল।	কোনো বিক্রিয়া হয় না—H_2 গ্যাস নির্গত হয় না।	বিক্রিয়া ঘটে H_2 গ্যাস নির্গত হয় এবং মিথোক্সাইড যৌগ উৎপন্ন হয়। $2CH_3OH + 2Na \rightarrow 2CH_3ONa + H_2$
(2) পরীক্ষাধীন তরলের সঙ্গে গাঢ় H_2SO_4-এর উপস্থিতিতে **স্যালিসাইলিক** অ্যাসিড যোগ করা হল এবং উত্তপ্ত করা হল।	কোনো বিশেষ গন্ধ পাওয়া যায় না।	**আয়োডেক্সের গন্ধ** পাওয়া যায়, কারণ স্যালিসাইলিক অ্যাসিডের সঙ্গে মিথানলের বিক্রিয়ায় **মিথাইল স্যালিসাইলেট** উৎপন্ন হয় যার গন্ধ উইন্টার গ্রিন তেলের মতো।

● ইথার এবং ইথানলের মধ্যে পার্থক্য নির্ণায়ক পরীক্ষা ঃ

পরীক্ষা	ইথার	ইথানল
(1) পরীক্ষাধীন তরলের সঙ্গে Na যোগ করা হল।	কোনো বিক্রিয়া হয় না—H_2 গ্যাস নির্গত হয় না।	বিক্রিয়া ঘটে H_2 গ্যাস নির্গত হয় এবং ইথক্সাইড যৌগ উৎপন্ন হয়। $2C_2H_5OH + 2Na \rightarrow 2C_2H_5ONa + H_2$
(2) পরীক্ষাধীন তরলের NaOH দ্রবণ যোগ করে আয়োডিন যোগ করার পর উত্তপ্ত করা হল, পরে ঠান্ডা করা হল।	তীব্র গন্ধবিশিষ্ট আয়োডোফর্ম উৎপন্ন হয় না।	হলুদ বর্ণের কেলাসরূপে তীব্র গন্ধবিশিষ্ট আয়োডোফর্ম অধঃক্ষিপ্ত হয়। $C_2H_5OH + 6NaOH + 4I_2 \longrightarrow CHI_3 + HCOONa + 5NaI + 5H_2O$

● মিথানল, ইথানল এবং ইথার সম্পর্কিত কতকগুলি সমস্যার সমাধান ঃ

(1) *একটি সম্পৃক্ত অ্যালিফ্যাটিক যৌগ থেকে পরপর PCl_5, KCN, অনুঘটকের উপস্থিতিতে H_2 এবং HNO_2 দিয়ে বিক্রিয়ার ফলে 1-প্রোপানল পাওয়া গেল। সম্পৃক্ত যৌগটি কী? বিক্রিয়ার সমীকরণ দাও।* ***[H.S. '94]***

Ans. সম্পৃক্ত যৌগ $\xrightarrow{PCl_5}$? $\xrightarrow{KCN}$? $\xrightarrow[\text{Ni Cat}]{H_2}$? $\xrightarrow{HNO_2}$ 1-প্রোপানল। এখন শেষ দিক থেকে পিছিয়ে গেলেই আসল যৌগটিকে শনাক্ত করা যায়—

$$\underset{\text{ইথানল}}{CH_3CH_2OH} \xrightarrow{PCl_5} \underset{\text{ক্লোরো ইথেন}}{CH_3CH_2Cl} \xrightarrow{KCN} \underset{\text{ইথাইল সায়ানাইড}}{CH_3CH_2CN} \xrightarrow[\text{Ni Cat } 160^\circ C]{H_2} \underset{\text{প্রোপাইল অ্যামিন}}{CH_3CH_2CH_2NH_2} \xrightarrow{HNO_2} \underset{\text{1-প্রোপানল}}{CH_3CH_2CH_2OH}$$

সম্পৃক্ত যৌগটি হল ইথানল (CH_3CH_2OH)

(2) *C_3H_8O সংকেতবিশিষ্ট দুটি যৌগ (A) এবং (B) সমাবয়বী। উভয় যৌগ ধাতব সোডিয়ামের সঙ্গে বিক্রিয়ায় হাইড্রোজেন মুক্ত করে। উভয় যৌগকে নিরুদিত করলে (C) অ্যালকিন পাওয়া যায়। যার ওজোন বিশ্লেষণে অ্যাসিট্যালডিহাইড এবং ফর্ম্যালডিহাইড পাওয়া যায়। (C)-এর সঙ্গে HCl-এর বিক্রিয়ায় যে যৌগ (D) উৎপন্ন হয় তার সঙ্গে KOH-এর জলীয় দ্রবণের বিক্রিয়ায় (A) যৌগ উৎপন্ন হয়। আবার (C) যৌগের সঙ্গে H_2O_2-এর উপস্থিতিতে HBr-এর বিক্রিয়ায় (E) উৎপন্ন হয়। (E)-এর সঙ্গে KOH-এর জলীয় দ্রবণের বিক্রিয়ায় (B) উৎপন্ন হয়। A, B, C, D এবং E কে শনাক্ত করো।*

Ans. (i) অ্যালকোহল এবং ইথার—এই দুই জাতীয় যৌগের সাধারণ সংকেত $[C_nH_{2n+2}O]$

C_3H_8O যৌগটির সংকেত $[C_3H_{2 \cdot 3+2}O]$

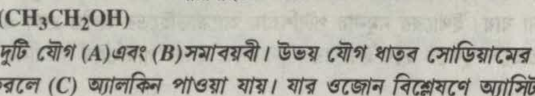
সুতরাং অ্যালকোহল কিংবা ইথার হতে পারে।

যেহেতু A এবং B উভয় যৌগ ধাতব Na-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে H_2 মুক্ত করে, সুতরাং বলা যায় A এবং B উভয় অ্যালকোহল—কারণ ইথার Na-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় H_2 মুক্ত করে না।

C_3H_8O সংকেতবিশিষ্ট অ্যালকোহল A এবং B-কে C_3H_7OH রূপে প্রকাশ করা যায়।

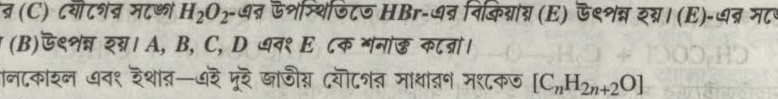
$$2C_3H_7OH + 2Na \longrightarrow 2C_3H_7ONa + H_2\uparrow$$

(ii) A এবং B-এর নিরুদনে (C) অ্যালকিন পাওয়া যায় যার ওজোন বিশ্লেষণে অ্যাসিট্যালডিহাইড এবং ফর্ম্যালডিহাইড পাওয়া যায়। সুতরাং অ্যালকিন (C) হল প্রোপিলিন।



প্রোপিলিন

(iii) প্রেপিলিনের (C) সঙ্গে HCl-এর বিক্রিয়ায় (D) উৎপন্ন হয়—যার সঙ্গে KOH-এর জলীয় দ্রবণের বিক্রিয়ায় (A) উৎপন্ন হয়। সুতরাং (D) যৌগটি হল **2-ক্লোরো প্রোপেন** যার সঙ্গে KOH-এর জলীয় দ্রবণের বিক্রিয়ায় 2-প্রোপানল পাওয়া যায়।



2-ক্লোরো প্রোপেন 2-প্রোপানল

সুতরাং A যৌগটি হল **2-প্রোপানল।**

(iv) প্রোপিলিন (C)-এর সঙ্গে H_2O_2-এর উপস্থিতিতে HBr-এর বিক্রিয়ায় (E) উৎপন্ন হয়। সুতরাং (E) যৌগটি হল **1-ব্রোমো প্রোপেন।**

$$CH_3-\overset{H}{C}=CH_2 \xrightarrow[H_2O_2]{HBr} \underset{\text{1-ব্রোমোপ্রোপেন}}{CH_3-\overset{H}{C}H-CH_2Br}$$

(E)-এর সঙ্গে KOH-এর জলীয় দ্রবণের বিক্রিয়ায় (B) উৎপন্ন হয়। সুতরাং (B) যৌগটি হল **1-প্রোপনল।**

$$CH_3-CH_2-CH_2Br \xrightarrow[\text{জলীয় দ্রবণ}]{KOH} \underset{\text{1-প্রোপানল}}{CH_3-CH_2-CH_2OH} + KBr$$

সুতরাং **(A) যৌগটি হল 2-প্রোপানল, (B) যৌগটি 1-প্রোপানল, (C) যৌগ প্রোপিন, (D) যৌগ 2-ক্লোরো প্রোপেন এবং (E) যৌগ 1-ব্রোমো প্রোপেন।**

(3) মনে করো পরীক্ষাগারে ইথাইল অ্যালকোহল নিরুদিত হয়ে 50% ইথিলিন উৎপন্ন করে। ওই উৎপাদিত ইথিলিন ব্রোমিনের সঙ্গে বিক্রিয়ায় 80% যৌগ উৎপন্ন হয়। 0·5 মোল ইথানল থেকে কত ওজনের ইথিলিন ডাই-ব্রোমাইড পাওয়া যেতে পারে নির্ণয় করো। *[Br = 80]*

Ans. বিক্রিয়া ঃ $\underset{\text{46 গ্রাম}}{CH_3CH_2OH} \xrightarrow[H_2SO_4]{HBr} \underset{\text{28 গ্রাম}}{CH_2 = CH_2}$

বিক্রিয়া থেকে পাওয়া যায় 46 গ্রাম ইথানল থেকে 28 গ্রাম ইথিলিন। কিন্তু প্রশ্নানুসারে শতকরা উৎপাদন = 50% অর্থাৎ 46 গ্রাম ইথাইল অ্যালকোহল থেকে প্রকৃত ইথিলিন উৎপাদন = $\frac{50 \times 28}{100}$ = 14 গ্রাম

অর্থাৎ 1 মোল ইথানল থেকে প্রকৃত উৎপাদন = 14 গ্রাম

0·5 " " " " " = 14 × 0·5 গ্রাম = 7 গ্রাম

$$\underset{\text{28 গ্রাম}}{CH_2 = CH_2} + Br_2 \longrightarrow \underset{\text{188 গ্রাম}}{CH_2Br-CH_2Br}$$

বিক্রিয়া থেকে 28 গ্রাম ইথিলিন থেকে 188 গ্রাম ইথিলিন ডাই-ব্রোমাইড পাওয়া যায়। কিন্তু প্রশ্নানুসারে শতকরা উৎপাদন = 80%।

সুতরাং 28 গ্রাম ইথিলিন থেকে প্রকৃত ইথিলিন ডাই-ব্রোইডের উৎপাদন = $\frac{80 \times 188}{100}$ = 150·4 গ্রাম

28 গ্রাম ইথিলিন থেকে প্রকৃত উৎপাদন = 150·4 গ্রাম

∴ 7 " " " " " = $\frac{150 \cdot 4 \times 7}{28}$ = 37·6 গ্রাম।

সুতরাং 0·5 মোল ইথানল থেকে 37·6 গ্রাম অর্থাৎ 0·2 মোল ইথিলিন ডাই-ব্রোমাইড পাওয়া যাবে।

(4) আণবিক সংকেত C_3H_8O দ্বারা দুটি সমাবয়বী তরল (A) এবং (B) নির্দেশ করে, যাদের মধ্যে (A) যৌগটি আয়োডোফর্ম উৎপন্ন করে কিন্তু (B) করে না। ওদের বাষ্পকে পৃথক পৃথকভাবে উত্তপ্ত অ্যালুমিনার চূর্ণের উপর দিয়ে চালনা করলে জলীয় বাষ্প নির্গত হয়ে উভয়ই একই যৌগ (C) উৎপন্ন করে। (A), (B) এবং (C) যৌগগুলিকে যুক্তিসহ শনাক্ত করো।

Ans. C_3H_8O সংকেতবিশিষ্ট (A) এবং (B) যৌগ দুটির মধ্যে (A) যৌগটি আয়োডোফর্ম বিক্রিয়ায় সাড়া দেয়; সুতরাং (A) যৌগটি অ্যাসিট্যালডিহাইড বা অ্যাসিটোন বা 2-প্রোপানল হতে পারে।

এখন (A)-কে উত্তপ্ত Al_2O_3-এর উপর চালনা করলে নিরুদিত হয়ে (C) উৎপন্ন করে। আমরা জানি, অ্যালকোহল নিরুদিত হয়ে অ্যালকিন উৎপন্ন করে। সুতরাং (A) যৌগটির নিরুদনে প্রোপিন (C) উৎপন্ন হয়। অতএব (A) যৌগটি হল **2-প্রোপানল।**

$$CH_3-\underset{OH}{\underset{|}{C}H}-CH_3 \xrightarrow[300^\circ C]{Al_2O_3} \underset{\text{প্রোপিন (C)}}{CH_3-CH=CH_2} + H_2O$$

2-প্রোপানল আয়োডোফর্ম বিক্রিয়া করে—

$$CH_3-\underset{OH}{\underset{|}{C}H}-CH_3 \xrightarrow{NaOH/I_2} \underset{\text{অ্যাসিটোন}}{CH_3-CO-CH_3} \xrightarrow{3I_2} \underset{\text{ট্রাই আয়োডো অ্যাসিটোন}}{Cl_3COCH_3}$$

$$Cl_3-COCH_3 \xrightarrow{NaOH} \underset{\text{আয়োডোফর্ম}}{CHI_3} + CH_3COONa$$

(B) যৌগটি হ্যালোফর্ম বিক্রিয়া করে না কিন্তু নিরুদিত হয়ে প্রোপিন দেয়। সুতরাং বলা যায় (B) হল 1-প্রোপানল $CH_3CH_2CH_2OH$.

$$CH_3CH_2CH_2OH \xrightarrow[300^\circ C]{Al_2O_3} \underset{\text{প্রোপিন}}{CH_3CH=CH_2}$$

সুতরাং, **(A) = 2-প্রোপানল, (B) = 1-প্রোপানল, (C) = প্রোপিন।**

(5) দুটি উদ্‌বায়ী জৈব যৌগের বিশ্লেষণ করে নীচের ফলগুলি পাওয়া গেল—কার্বন = 52·2%, হাইড্রোজেন = 13%, অক্সিজেন = 34·8%। দুটি যৌগের বাষ্প ঘনত্ব = 23, যৌগ দুটির সঙ্গে (i) ধাতব সোডিয়াম, (ii) ফুটন্ত HI-এর বিক্রিয়ার বর্ণনা দাও।

Ans.

মৌলের চিহ্ন	শতকরা পরিমাণ	মৌলগুলির পরমাণুর সংখ্যার অনুপাত	পরমাণু সংখ্যার অনুপাত ÷ অনুপাতের ক্ষুদ্রতম রাশি	পরমাণুর লঘিষ্ঠ পূর্ণসংখ্যার অনুপাত	যৌগটির স্থূল সঙ্কেত
C	52·2	52·2/12 = 4·35	4·35 ÷ 2·17 = 2	2	
H	13	13/1 = 13	13 ÷ 2·17 = 6	6	C_2H_6O
O	34·8	34·8/16 = 2·17	2.17 ÷ 2·17 = 1	1	

যৌগ দুটির স্থূল সংকেত C_2H_6O

ধরি, যৌগ দুটির আণবিক সংকেত = $(C_2H_6O)n$

$\therefore$ আণবিক গুরুত্ব = $(2 \times 12 + 6 \times 1 + 16)n = 46n$

যৌগ দুটির বাষ্প ঘনত্ব = 23 $\quad \therefore$ আণবিক গুরুত্ব = $23 \times 2 = 46$

$\therefore 46n = 46$ বা, $n = 1$.

$\therefore$ যৌগ দুটির আণবিক সংকেত C_2H_6O

যেহেতু যৌগ দুটির আণবিক সংকেত একই, তাই যৌগ দুটি পরস্পর সমাবয়বী। C_2H_6O সংকেত যুক্ত যৌগ দুটি হতে পারে—

(i) CH_3CH_2OH এবং (ইথানল) $\qquad$ (ii) $CH_3—O—CH_3$ (ডাই-মিথাইল ইথার)

বিক্রিয়া ঃ ডাই-মিথাইল ইথার ঃ

(i) ডাই-মিথাইল ইথার Na-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে না।

(ii) কিন্তু ফুটন্ত হাইড্রোআয়োডিক অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়া করে **মিথাইল আয়োডাইড** উৎপন্ন করে।

$$CH_3—O—CH_3 + 2HI \longrightarrow 2CH_3I + H_2O$$

ইথাইল অ্যালকোহল ঃ

(i) ইথাইল অ্যালকোহল ধাতব সোডিয়ামের সঙ্গে বিক্রিয়া করে **সোডিয়াম ইথক্সাইড** এবং $\mathbf{H_2}$ উৎপন্ন করে।

$$2CH_3CH_2OH + 2Na \longrightarrow 2C_2H_5ONa + H_2$$

(ii) ফুটন্ত HI-এর সঙ্গে ইথাইল অ্যালকোহলের বিক্রিয়ায় **ইথাইল আয়োডাইড** উৎপন্ন করে।

$$CH_3CH_2OH + HI \longrightarrow C_2H_5I + H_2O$$

(6) দুটি সমাবয়বী জৈব যৌগ (A) এবং (B)-এর আণবিক সংকেত $C_4H_8O_2$. (A)-এর আর্দ্র-বিশ্লেষণে মিথাইল অ্যালকোহল এবং একটি অম্ল (C) পাওয়া যায়। অম্ল (C) কার্বন ডাইঅক্সাইড পরিত্যাগ করে ইথেনে রূপান্তরিত হয়। (B)-এর আর্দ্র-বিশ্লেষণে ইথানল এবং একটি অম্ল (D) পাওয়া যায়। অম্ল (D) বিজারিত হয়ে ইথাইল অ্যালকোহল দেয়। A, B, C এবং D যৌগগুলি কী?

Ans. (A) এবং (B) যৌগ দুটি 4 কার্বন পরমাণুবিশিষ্ট জৈব যৌগ। (A)-এর আর্দ্র-বিশ্লেষণে মিথাইল এবং অ্যাসিড পাওয়া যায়। সুতরাং (A) যৌগটি নিশ্চয় এস্টার জাতীয়। আবার (A) থেকে পাওয়া অ্যাসিড থেকে CO_2 বেরিয়ে গেলে অর্থাৎ ডিকার্বক্সিলেশনের ফলে ইথেন উৎপন্ন হয়। সুতরাং অ্যাসিডটি 3 কার্বন পরমাণুবিশিষ্ট অ্যাসিড অর্থাৎ প্রোপানোয়িক অ্যাসিড। অথএব দেখা গেল (A) যৌগটির আর্দ্র-বিশ্লেষণে মিথানল এবং প্রোপানোয়িক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়। সুতরাং (A) হল $CH_3CH_2COOCH_3$ অর্থাৎ মিথাইল প্রোপানোয়েট। (B) যৌগটির আর্দ্র-বিশ্লেষণে ইথানল এবং একটি অ্যাসিড উৎপন্ন হয়, সুতরাং (B) যৌগটিও এস্টার। (D) অ্যাসিডটিকে বিজারিত করলে ইথাইল পাওয়া যায়, সুতরাং (D) অ্যাসিডটি 2 কার্বন পরমাণুবিশিষ্ট অ্যালিফ্যাটিক অ্যাসিড অর্থাৎ অ্যাসিটিক অ্যাসিড।

এখন দেখা গেল, (B) এস্টারের আর্দ্র-বিশ্লেষণে ইথাইল এবং অ্যাসিটিক অ্যাসিড পাওয়া যায়, সুতরাং (B) এস্টারটির গঠন $CH_3COOC_2H_5$ অর্থাৎ ইথাইল ইথানোয়েট। অতএব—

(A) = $CH_3CH_2COOCH_3$ মিথাইল প্রোপানোয়েট; $\qquad$ (B) = $CH_3COOC_2H_5$ ইথাইল ইথানোয়েট;

(C) = প্রোপানোয়িক অ্যাসিড CH_3CH_2COOH; $\qquad$ (D) = ইথানোয়িক অ্যাসিড CH_3COOH.

সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়াগুলি হল—(i) $\underset{(A)}{CH_3CH_2COOCH_3} + H.OH \longrightarrow \underset{(C)}{CH_3CH_2COOH} + \underset{\text{মিথানল}}{CH_3OH}$

(ii) $\underset{(C)}{CH_3CH_2COOH} \xrightarrow{\Delta} \underset{\text{ইথেন}}{CH_3—CH_3} + CO_2\uparrow$

(iii) $\underset{(B)}{CH_3COOC_2H_5} + H.OH \longrightarrow \underset{\text{ইথানোয়িক অ্যাসিড (D)}}{CH_3COOH} + \underset{\text{ইথানল}}{C_2H_5OH}$ **(iv)** $CH_3COOH \xrightarrow{\text{বিজারণ}} \underset{\text{ইথানল}}{CH_3CH_2OH}$

(7) বিউটাইল অ্যালকোহলের মধ্যে কোনটি আয়োডোফর্ম বিক্রিয়া দেবে?

Ans. যে বিউটাইল অ্যালকোহলের অণুতে $CH_3CH(OH)$ গ্রুপ আছে সেটি এই পরীক্ষায় সাড়া দেবে। সুতরাং নির্ণেয় বিউটাইল অ্যালকোহলটি হল 2-বিউটানল $CH_3CH(OH)CH_2CH_3$.

(8) কীভাবে প্রস্তুত করবে লেখো (শুধু রাসায়নিক সমীকরণ দিতে হবে)—ইথানল থেকে পলিথিন।

Ans. $\underset{\text{ইথানল বাষ্প}}{CH_3CH_2OH} \xrightarrow{Al_2O_3} \underset{\text{ইথিলিন}}{H_2C{=}CH_2}$

$$n(H_2C{=}CH_2) \xrightarrow[O_2]{2000\ \text{atm চাপ}\ 200^\circ C} \underset{\text{পলিইথিলিন}}{[-CH_2-CH_2-]_n}$$

(9) দুটি বিভিন্ন জৈব যৌগ X এবং Y পৃথকভাবে I_2 এবং NaOH-এর সাথে বিক্রিয়া করে একই যৌগ সোডিয়াম ইথানোয়েট ও আয়োডোফর্ম উৎপন্ন করে। X এবং Y যৌগ দুটি কী কী? X এবং Y যৌগ দুটিকে পরস্পরে কীভাবে রূপান্তরিত করবে?

Ans. বিক্রিয়াটি আয়োডোফর্ম বিক্রিয়া। এই বিক্রিয়ায়, CH_3CHOH গ্রুপযুক্ত 2° অ্যালকোহল অথবা তার জারণে উৎপন্ন কিটোন, একই অ্যাসিড উৎপন্ন করে যেহেতু দুটি ক্ষেত্রেই সোডিয়াম ইথানোয়েট উৎপন্ন হয়, সুতরাং যৌগ দুটি হল $X = CH_3CH(OH)CH_3$ 2-প্রোপানল এবং $Y = CH_3COCH_3$ অ্যাসিটোন।

$$CH_3CH(OH)CH_3 \xrightarrow{I_2/NaOH} CHI_3 + CH_3COONa, \quad CH_3COCH_3 \xrightarrow{I_2/NaOH} CHI_3 + CH_3COONa$$

$$\underset{\text{2-প্রোপানল}}{CH_3CH(OH)CH_3} \xrightarrow[Na_2Cr_2O_7/H_2SO_4]{[O]} \underset{\text{অ্যাসিটোন}}{CH_3COCH_3}$$

$$\underset{\text{অ্যাসিটোন}}{CH_3COCH_3} \xrightarrow{(i)\ LiALH_4\ \ (ii)\ H_2O} \underset{\text{2-প্রোপানল}}{CH_3CH(OH)CH_3}$$

অনুশীলনী

[A] অতি সংক্ষিপ্ত প্রশ্ন ঃ

(i) ইথানল থেকে ইথাইল ক্লোরাইড তৈরি করতে কী বিকারক ব্যবহার করা হয়? **(ii)** প্রোপিনের সাথে জৈব পারক্সাইডের উপস্থিতি HBr বিক্রিয়া করে কী উৎপন্ন করে? **(iii)** ইথাইল ব্রোমাইডের সাথে ইথার দ্রবণে ধাতব Na-এর বিক্রিয়ায় কী যৌগ উৎপন্ন হয়? **(iv)** ইথাইল আয়োডাইড থেকে ইথাইল আইসোসায়ানাইড তৈরি করতে কী বিকারকের প্রয়োজন হয়? **(v)** অ্যালকিল হ্যালাইডকে অ্যালকোহলীয় KOH সংযোগে রিফ্লাক্স করলে অ্যালকিন তৈরি হয়—এই বিক্রিয়াটি কী নামে পরিচিত? **(vi)** ইথাইল আয়োডাইডকে ডাইমিথাইল সালফক্সাইড (DMSO) দ্বারা জারিত করলে কী যৌগ উৎপন্ন হয়? **(vii)** একটি প্রাইমারি অ্যালকোহলের সংকেত লেখো যা হ্যালোফর্ম বিক্রিয়া দেয়। **(viii)** ক্লোরোফর্ম আলোক ও O_2-এর উপস্থিতিতে যে বিষাক্ত পদার্থ উৎপন্ন করে—তার নাম লেখো।

[B] সংক্ষিপ্ত উত্তরধর্মী প্রশ্ন ঃ

(1) নিম্নলিখিত ক্ষেত্রে কী ঘটে সমীকরণ সহ লেখো ঃ

(i) ইথাইল আয়োডাইডের অ্যালকোহলীয় দ্রবণে Zn/Cu কাপল্ যোগ করা হল। **(ii)** ক্ষারীয় দ্রবণে অ্যাসিটোনের মধ্যে Cl_2 গ্যাস চালনা করা হল। **(iii)** ইথিলিন ডাইব্রোমাইডকে অ্যালকোহলীয় KOH দ্রবণের সঙ্গে ফোটানো হল। **(iv)** শুষ্ক ইথারের উপস্থিতিতে ধাতব Na-এর সঙ্গে ইথাইল আয়োডাইডের বিক্রিয়া করানো হল। **(v)** 400°C উষ্ণতায় অ্যালুমিনার উপর ইথাইল অ্যালকোহলের বাষ্প চালনা করা হল। **(vi)** মিথাইল ম্যাগনেশিয়াম আয়োডাইডের সঙ্গে নিম্নতাপমাত্রায় অ্যাসিট্যালডিহাইডের বিক্রিয়া ঘটানো হল। **(vii)** ক্লোরোফর্মকে রৌপ্যসহ উত্তপ্ত করা হল। **(viii)** ইথাইল অ্যালকোহল বাষ্পকে পৃথকভাবে উত্তপ্ত অ্যালুমিনা ও উত্তপ্ত কিউপ্রিক অক্সাইডের উপর চালনা করা হল। **(ix)** প্রোপিনের সঙ্গে পারঅক্সাইডের উপস্থিতিতে HBr-এর সঙ্গে বিক্রিয়া ঘটানো হল। **(x)** ক্লোরোফর্মকে কয়েক ফোঁটা অ্যানিলিন ও অ্যালকোহল যুক্ত KOH দ্রবণসহ উত্তপ্ত করা হল। **(xi)** ক্লোরোফর্মের সাথে দস্তা ও জলের বিক্রিয়া ঘটানো হল। **(xii)** আয়োডিন এবং NaOH-এর দ্রবণ সহ অ্যাসিটোন উত্তপ্ত করা হল। **(xiii)** ইথাইল ক্লোরাইডের সঙ্গে সোডিয়াম ইথক্সাইডের বিক্রিয়া করানো হল। **(xiv)** ডাই ইথাইল ইথারের সঙ্গে ঠান্ডা অবস্থায় HI-এর বিক্রিয়া করানো হল। **(xv)** ইথানলের সঙ্গে PCl_5-এর বিক্রিয়ায় উৎপন্ন যৌগের সঙ্গে অ্যালকোহলীয় KOH-এর বিক্রিয়া ঘটানো হল।

(2) নিম্নলিখিত যৌগগুলিকে কীভাবে রূপান্তরিত করবে?

(i) ইথিলিন থেকে ইথাইল ক্লোরাইড। **(ii)** মিথেন থেকে মিথানল। **(iii)** 1-বিউটিন থেকে 2-বিউটিন। **(iv)** ইথানল থেকে ক্লোরোফর্ম। **(v)** বেনজিন থেকে ফেনল। **(vi)** ফিনাইল ব্রোমাইড থেকে 2-ফিনাইল ইথানল। **(vii)** ফিনাইল ব্রোমাইড থেকে 1-ফিনাইল ইথানল। **(vii)** ক্লোরোফর্ম থেকে ইথানল। **(ix)** ইথানল থেকে মিথেন। **(x)** অ্যাসিট্যালডিহাইড থেকে মিথানল।

(3) কারণ ব্যাখ্যা করো ঃ

(i) সমআণবিক ওজনবিশিষ্ট অ্যালকেনের চেয়ে অ্যালকোহলের স্ফুটনাঙ্ক বেশি কেন? **(ii)** আংশিক পাতনের সাহায্যে নির্জল ইথানল প্রস্তুত করা যায় না কেন? **(iii)** ইথানল জলে দ্রবীভূত হয় কিন্তু ডাই-ইথাইল ইথার দ্রবীভূত হয় না কেন? **(iv)** সমআণবিক ওজনবিশিষ্ট ইথারের চেয়ে অ্যালকোহলের স্ফুটনাঙ্ক বেশি কেন? **(v)** ধাতব Na দ্বারা ইথার শুষ্ক করা যায় কিন্তু ইথানল শুষ্ক করতে Na ব্যবহার করা যায় না কেন? **(vi)** গ্রিগনার্ড বিকারকের দ্রাবক হিসাবে অ্যালকোহল ব্যবহার করা যায় না কেন? **(vii)** সন্ধান প্রক্রিয়া চলাকালে দ্রবণটি ফুটন্ত বলে মনে হয় কেন? **(viii)** ইথানল হ্যালোফর্ম বিক্রিয়ায় সাড়া দেয় কিন্তু মিথানল দেয় না কেন?

(4) নীচের বিক্রিয়াগুলিতে A, B, C, D ইত্যাদিগুলিকে শনাক্ত করো ঃ

(i) $CH_3CHO \xrightarrow{MeMgBr} A \xrightarrow{H_3O^+} B \xrightarrow[170^\circ C]{\text{গাঢ় } H_2SO_4} C$

(ii) $CH_3OH \xrightarrow{HI} A \xrightarrow{KCN} B \xrightarrow{H_3O^+} C$

(iii) $C_2H_5OH \xrightarrow{\text{লাল } P/I_2} A \xrightarrow{KCN} B \xrightarrow{\text{Na/অ্যালকোহল}} C$

(iv) $C_2H_5OH \xrightarrow[Ca(OCl)Cl]{Cl_2} A \xrightarrow{Cl_2} B \xrightarrow{Ca(OH)_2} C \xrightarrow{Ag} D$

(v) $C_2H_5OH \xrightarrow[170^\circ C]{H_2SO_4} A \xrightarrow{HBr} B \xrightarrow[KOH]{\text{জলীয়}} C$

(vi) $C_2H_5OH \xrightarrow{\text{লাল } P + I_2} A \xrightarrow{CH_3ONa} B$

[C] নৈর্ব্যক্তিক প্রশ্ন ঃ

সঠিক উত্তরটি বা উত্তরগুলি নির্বাচন করো ঃ

(i) PCl_5 বিক্রিয়া করে—(a) অ্যালকোহল, (b) ইথার, (c) কিটোন, (d) অ্যামিন-এর সঙ্গে। [*Ans.* (a), (b), (c)]

(ii) নীচের কোন্ বিক্রিয়া দ্বারা প্রাইমারী, সেকেন্ডারী এবং টারসিয়ারী অ্যালকোহলের মধ্যে পার্থক্য নির্ণয় করা যায় না—
(a) বিজারিত Cu, (b) আম্লিক $KMnO_4$, (c) $ZnCl_2$ + HCl, (d) PCl_5 [*Ans.* (d)]

(iii) হাইড্রোজেন বন্ধন সম্ভব হয়—(a) ইথারে, (b) হাইড্রোকার্বনে, (c) জলে, (d) অ্যালকোহলে। [*Ans.* (c), (d)]

(iv) নীচের কোনগুলির সঙ্গে I_2 এবং KOH-এর বিক্রিয়ায় হলুদ অধঃক্ষেপ উৎপন্ন হয়?
(a) 2-হাইড্রক্সি প্রোপেন, (b) অ্যাসিটো ফেনন, (c) মিথাইল অ্যাসিটেট, (d) অ্যাসিটেমাইড। [*Ans.* (a), (b)]

(v) ইথানলিক KCN-এর সঙ্গে নীচের কোন্ যৌগটি বিক্রিয়া করবে?— (a) ইথাইল ক্লোরাইড, (b) অ্যাসিটাইল ক্লোরাইড, (c) ক্লোরো বেনজিন, (d) বেনজালডিহাইড। [*Ans.* (a), (d)]

(vi) কাঠের অন্তর্ধূম পাতনে প্রাপ্ত পাইরোলিগনিয়াস অ্যাসিড থেকে শিল্প উৎপন্ন করা হয়—(a) মিথানল, (b) অ্যাসিট্যালডিহাইড, (c) অ্যাসেটিক অ্যাসিড, (d) প্রোপানল। [*Ans.* (a), (c)]

(vii) নীচের কোন্গুলি ক্লোরোফর্ম প্রস্তুতে ব্যবহৃত হতে পারে?
(a) $CH_3\ CH_2\ CO\ CH_2\ CH_3$, (b) $CH_3\ CO\ C_2H_5$, (c) $CH_3\ CH_2\ CO\ C_3H_7$, (d) $CH_3\ CHO$. [*Ans.* (b), (d)]

(viii) যে যৌগটি লুকাস বিকারকের সঙ্গে দ্রুত বিক্রিয়া করে তা হল—(a) বিউটান-1-অল, (b) বিউটান-2-অল, (c) 2-মিথাইল প্রোপান-1-অল, (d) 2-মিথাইল প্রোপান-2-অল। [*Ans.* (d)]

(ix) ইথানলের সঙ্গে গাঢ় H_2SO_4 যোগ করে উত্তপ্ত করলে উৎপন্ন দ্রব্যটি হল—
(a) $CH_3—\overset{\overset{O}{\|}}{C}OC_2H_5$, (b) C_2H_6, (c) C_2H_4, (d) C_2H_2. [*Ans.* (c)]

(x) যে যৌগটি আয়োডোফর্ম বিক্রিয়ায় সাড়া দেয় তা হল— (a) 1 পেন্টানল, (b) 2 পেন্টানোন, (c) 3 পেন্টানোন, (d) পেন্টান্যাল। [*Ans.* (b)]

(xi) হাইড্রোজেন বন্ধন সর্বোচ্চ নীচের কোন্‌টিতে? (a) ইথানল, (b) ডাই-ইথাইল ইথার, (c) ইথাইল ক্লোরাইড, (d) ট্রাই ইথাইল অ্যামিন। [*Ans.* (a)]

(xii) নীচের কোন্‌টি জারিত হয়ে মিথাইল ইথাইল কিটোন দেয়?
(a) 2-প্রোপানল, (b) 1-বিউটানল, (c) 2-বিউটানল, (d) t-বিউটাইল অ্যালকোহল। [*Ans.* (c)]

(xiii) নীচের কোন্ অ্যালকোহলটির জলে দ্রাব্যতা সর্বনিম্ন?
(a) CH_3OH, (b) C_3H_7OH, (c) $C_6H_{13}OH$, (d) $C_{10}H_{21}OH$. [*Ans.* (d)]

(xiv) ডিনেচার্ড স্পিরিট প্রধানত ব্যবহৃত হয়— (a) জ্বালানীরূপে, (b) ওষুধরূপে, (c) ভার্নিশ প্রস্তুতে দ্রাবকরূপে, (d) পানীয় প্রস্তুতে। [*Ans.* (c)]

(xv) যে জৈব যৌগকে 300°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত Cu-এর উপর চালনা করলে একটি অলিফিন উৎপন্ন হয় তা বল—(a) একটি অ্যালকেন, (b) একটি অ্যালকাইন, (c) 2° অ্যালকোহল, (d) 3° অ্যালকোহল। [*Ans.* (d)]

(xvi) *n*-প্রোপাইল ব্রোমাইডের সঙ্গে ইথানলীয় KOH-এর বিক্রিয়ায় উৎপন্ন হয়— (a) প্রোপেন, (b) প্রোপিন, (c) প্রোপাইন, (d) প্রোপানল। [*Ans.* (b)]

[D] গাণিতিক প্রশ্ন ঃ

নীচের সমস্যাগুলির সমাধান করো ঃ

(1) একটি অ্যালকোহল (A) $C_4H_{10}O$, আম্লিক $K_2Cr_2O_7$ দ্বারা জারিত হয়ে একটি কার্বক্সিলিক অ্যাসিড (B) C_4H_8O উৎপন্ন হয়। (A)-এর সঙ্গে গাঢ় এবং উত্তপ্ত H_2SO_4-এর বিক্রিয়ায় একটি যৌগ (C) C_4H_8 দেয়। (C)-এর সঙ্গে H_2SO_4-এর জলীয় দ্রবণ মিশিয়ে গরম করায় (D) অ্যালকোহল $C_4H_{10}O$ উৎপন্ন হয় যা হল (A) যৌগটির আইসোমার। (D) অ্যালকোহলটি সহজে জারিত হয় না। (A), (B), (C) এবং (D)-কে শনাক্ত করো।

[*Ans.* (A) ঃ 2-মিথাইল-1-প্রোপানল, (B) ঃ 2-মিথাইল প্রোপানোয়িক অ্যাসিড, (C) ঃ 2-মিথাইল প্রোপিন, (D) ঃ 2-মিথাইল-2-প্রোপানল]

(2) C_2H_6O সংকেতবিশিষ্ট দুটি যৌগের মধ্যে (A), ধাতব Na-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে এবং H_2 নির্গত হয় কিন্তু (B) করে না। (A) আয়োডোফর্ম বিক্রিয়ায় সাড়া দেয় কিন্তু (B) দেয় না। (A) এবং (B) যৌগ দুটি কী হতে পারে?

[*Ans.* (A) ঃ CH_3CH_2OH এবং (B) ঃ $CH_3—O—CH_3$]

(3) একটি ইথার A-কে HI-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করায় মিথাইল আয়োডাইড এবং আর একটি অ্যালকিল আয়োডাইড B উৎপন্ন করে। B-এর মধ্যে 64·6% I_2 আছে। B-এর সঙ্গে AgOH-এর বিক্রিয়ায় C যৌগ উৎপন্ন হয় যা হ্যালোফর্ম বিক্রিয়ায় সাড়া দেয়। A, B এবং C-কে শনাক্ত এবং বিক্রিয়াগুলিকে সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করো। [*Ans.* A = $CH_3—O—C_2H_5$; B = C_2H_5I ; C = C_2H_5OH]

(4) C_2H_6O সংকেতবিশিষ্ট একটি জৈব তরল X-এর সঙ্গে গাঢ় H_2SO_4-এর বিক্রিয়ায় A এবং B যৌগ উৎপন্ন হয়। A যৌগটির মধ্যে —OH মূলক আছে। B যৌগের আর্দ্র-বিশ্লেষণে A যৌগ উৎপন্ন হয়। X যৌগের সঙ্গে PCl_5-এর বিক্রিয়ায় HCl উৎপন্ন হয় না, X, A এবং B যৌগগুলিকে শনাক্ত করো।[*Ans.* X—$CH_3—O—CH_3$, A—CH_3OH, B—CH_3HSO_4]

(5) $C_4H_{10}O$ সংকেতবিশিষ্ট দুটি যৌগ A এবং B সমাবয়বী। A যৌগটি ধাতব সোডিয়ামের সঙ্গে বিক্রিয়া করে না এবং আয়োডোফর্ম বিক্রিয়ায় সাড়া দেয় না। গাঢ় H_2SO_4-এর চাপ প্রয়োগে বিক্রিয়া ঘটালে দ্রবীভূত হয়। B যৌগটি ধাতব Na-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে এবং আয়োডোফর্ম বিক্রিয়ায় সাড়া দেয়। A এবং B যৌগ দুটিকে শনাক্ত করো।

[*Ans.* A = $C_2H_5—O—C_2H_5$, B = $CH_3—CH_2—\underset{OH}{\underset{|}{CH}}—CH_3$]

(6) C_2H_6O সংকেতযুক্ত একটি যৌগ (A)-এর সঙ্গে ধাতব সোডিয়ামের বিক্রিয়ায় (B) যৌগ এবং H_2 নির্গত হয়। (B) যৌগের সঙ্গে ইথাইল আয়োডাইডের অ্যালকোহলীয় দ্রবণের বিক্রিয়া ঘটে (C) উৎপন্ন হয়। (C)-এর সঙ্গে ফুটন্ত HI-এর বিক্রিয়ায় (D) যৌগ উৎপন্ন হয় যার সঙ্গে KOH-এর জলীয় দ্রবণের বিক্রিয়ায় (A) উৎপন্ন হয়। A, B, C এবং D যৌগকে শনাক্ত করো।

[*Ans.* A = C_2H_5OH, B = C_2H_5ONa ; C = $C_2H_5—O—C_2H_5$, D = C_2H_5I]

5

জৈব যৌগের রসায়ন (3)
[Chemistry of Organic Compounds (3)]

5.1. কার্বনিল যৌগ ঃ অ্যালডিহাইড ও কিটোন [Aldehydes and Ketone]

অ্যালডিহাইড ও কিটোন উভয় শ্রেণির যৌগের সাধারণ সংকেত $C_nH_{2n}O$ এবং উভয় শ্রেণির যৌগে কার্বনিল (carbonyl) গ্রুপ ($>C=O$) কার্যকরী গ্রুপ হিসাবে বর্তমান। সাধারণভাবে এরা কার্বনিল যৌগ নামে পরিচিত। কার্বনিল গ্রুপের কার্বনকে **কার্বনিল কার্বন** এবং **অক্সিজেনকে কার্বনিল অক্সিজেন বলে।**

কার্বনিল গ্রুপের কার্বনের দুটি যোজ্যতার মধ্যে যদি একটি হাইড্রোজেন পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত থাকে তবে তাকে অ্যালডিহাইড গ্রুপ $\left[\begin{matrix}-C=O\\ |\\ H\end{matrix}\right]$ বলে। অ্যালডিহাইড (–CHO) গ্রুপ, যৌগের মধ্যে **সর্বদা কার্বন শৃঙ্খলের এক প্রান্তে থাকে।**

কার্বনিল গ্রুপের কার্বনের দুটি যোজ্যতাই অ্যালকিল গ্রুপের সঙ্গে যুক্ত থাকলে তাকে কিটোন বলে। কিটো গ্রুপ $\left[\begin{matrix}-C=O\\ |\end{matrix}\right]$ **সর্বদা কার্বন শৃঙ্খলের মাঝে থাকে।**

5.2. অ্যালডিহাইড প্রস্তুতির সাধারণ পদ্ধতি [General methods of preparation of Aldehydes]

(1) প্রাইমারি অ্যালকোহলের জারণ দ্বারা (By the oxidation of primary alcohol) ঃ প্রাইমারি অ্যালকোহলের জারণ বা ডিহাইড্রোজেনেশন দ্বারা অ্যালডিহাইড প্রস্তুত করা হয়।

(i) সোডিয়াম বা পটাশিয়াম ডাইক্রোমেট ও গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড দ্বারা প্রাইমারি অ্যালকোহল জারিত হয়ে অ্যালডিহাইড উৎপন্ন হয়।

$$RCH_2OH \xrightarrow[{[O]}]{Na_2Cr_2O_7/H_2SO_4} RCHO$$

অ্যালডিহাইড সহজে জারিত হয়ে অ্যাসিডে পরিণত হয়, তাই জারক দ্রব্যের গাঢ়ত্ব কম রেখে উৎপন্ন অ্যালডিহাইডকে পাতন দ্বারা জারক দ্রব্যের সংস্পর্শ থেকে সরিয়ে এনে এই জারণ অ্যালডিহাইড স্তরে সীমাবদ্ধ রাখা হয়।

বিশেষ জারক হিসাবে **পিরিডিনিয়াম ক্লোরোক্রোমেট** (PCC), **ডাইক্লোরো মিথিলিন দ্রাবকের উপস্থিতিতে** প্রাইমারি অ্যালকোহল জারিত হয়ে অ্যালডিহাইডে পরিণত হয়। জারণ এখানেই সীমাবদ্ধ থাকে, সেজন্য অ্যালডিহাইড জারিত হয়ে অ্যাসিডে পরিণত হয় না।

$$RCH_2OH \xrightarrow{PCC/CH_2Cl_2} RCHO$$

(ii) প্রাইমারি অ্যালকোহল বাষ্প ও বায়ু বা অক্সিজেনের মিশ্রণকে উত্তপ্ত (250ºC) সিলভার অনুঘটকের উপর দিয়ে চালনা করলে অ্যালডিহাইড উৎপন্ন হয়।

$$RCH_2OH + O_2 \xrightarrow[250^{\circ}C]{Ag} RCHO + H_2O$$

(iii) প্রাইমারি অ্যালকোহল বাষ্পকে 300ºC তাপমাত্রায় উত্তপ্ত কপার অনুঘটকের উপর দিয়ে চালনা করলেও অ্যালডিহাইড উৎপন্ন হয়।

$$RCH_2OH \xrightarrow[300^{\circ}C]{Cu} RCHO + H_2\uparrow$$

(2) কার্বক্সিলিক অ্যাসিড থেকে (From carboxylic acids) ঃ

(i) ফ্যাটি অ্যাসিডের ক্যালশিয়াম লবণ ও ক্যালশিয়াম ফর্মেটের সমমোল মিশ্রণকে শুষ্ক অবস্থায় উত্তপ্ত করলে অ্যালডিহাইড উৎপন্ন হয়। এই বিক্রিয়ায় HCHO ও কিটোন যৌগ পার্শ্ববিক্রিয়াজাত পদার্থ রূপে পাওয়া যায়।

$$\underset{\text{ফ্যাটি অ্যাসিডের Ca-লবণ}}{(RCOO)_2Ca} + \underset{\text{ক্যালশিয়াম ফর্মেট}}{(HCOO)_2Ca} \longrightarrow 2RCHO + 2CaCO_3$$

(ii) ফ্যাটি অ্যাসিডের বাষ্প ও সম-আয়তন ফর্মিক অ্যাসিড বাষ্পের মিশ্রণকে 300ºC তাপমাত্রায় উত্তপ্ত ম্যাঙ্গানাস অক্সাইড অনুঘটকের উপর চালনা করলে অ্যালডিহাইড উৎপন্ন হয়।

$$RCOOH + HCOOH \xrightarrow[300^{\circ}C]{MnO} RCHO + CO_2 + H_2O$$

(3) রোজেনমান্ড বিজারণ (Rosenmund reduction) ঃ অ্যাসিড ক্লোরাইড থেকে—অ্যাসিড ক্লোরাইডকে ফুটন্ত জাইলিন মাধ্যমে বেরিয়াম সালফেটের উপর রাখা সূক্ষ্ম প্যালাডিয়াম চূর্ণ অনুঘটকের উপস্থিতিতে হাইড্রোজেন গ্যাস চালনা করলে, অ্যাসিড ক্লোরাইড বিজারিত হয়ে অ্যালডিহাইডে পরিণত হয়।

$$RCOCl + H_2 \xrightarrow[\text{সামান্য কুইনোলিন ও সালফার}]{Pd\text{-}BaSO_4} RCHO + HCl$$

অ্যাসিড ক্লোরাইডের চেয়ে অ্যালডিহাইডের বিজারিত হওয়ার প্রবণতা বেশি। এখানে $BaSO_4$ অনুঘটক বিষ হিসাবে কাজ করে Pd-এর বিজারণ ক্ষমতা কমিয়ে দেয়, যাতে অ্যাসিড ক্লোরাইডের বিজারণ প্রথম ধাপ অ্যালডিহাইডেই সীমাবন্ধ থাকে। সাধারণত সামান্য কুইনোলিন ও সালফার (অনুঘটক বিষ) যোগ করে উৎপন্ন অ্যালডিহাইডের অ্যালকোহলে বিজারিত হওয়া বন্ধ করা হয়।

কার্বক্সিলিক অ্যাসিডকে প্রত্যক্ষভাবে বিজারিত করে অ্যালডিহাইড উৎপন্ন করা সহজ নয়। $LiAlH_4$ কার্বক্সিলিক অ্যাসিডকে বিজারিত করে প্রাইমারি অ্যালকোহল উৎপন্ন করে। সুতরাং কার্বক্সিলিক অ্যাসিড থেকে অ্যালডিহাইড প্রস্তুত করতে হলে প্রথমে অ্যাসিডকে $SOCl_2$ বা PCl_5-এর সাথে বিক্রিয়ায় অ্যাসিড ক্লোরাইডে পরিণত করে, উৎপন্ন অ্যাসিড ক্লোরাইডকে সহজেই রোজেনমান্ড বিক্রিয়ার সাহায্যে অ্যালডিহাইডে পরিণত করা যায়। **এই পদ্ধতি দ্বারা কিটোন প্রস্তুত করা যায় না।**

$$RCOOH \xrightarrow{SOCl_2} RCOCl \xrightarrow{H_2/Pd\text{-}BaSO_4} RCHO$$

(4) স্টিফেন পদ্ধতি (Stephen's method) ঃ অ্যালকিল সায়ানাইড থেকে—অ্যালকিল নাইট্রাইল বা সায়ানাইডকে ইথার বা ইথাইল অ্যাসিটেটে দ্রবীভূত করে স্ট্যানাস ক্লোরাইড ($SnCl_2$) ও হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড দ্বারা বিজারিত করে উৎপন্ন পদার্থের আর্দ্রবিশ্লেষণ করলে অ্যালডিহাইড উৎপন্ন হয়। **এই পদ্ধতি দ্বারা কিটোন প্রস্তুত করা যায় না।**

$$RCN \xrightarrow[(2)\ \ H_2O]{(1)\ \ SnCl_2/HCl} RCHO$$

(5) গ্রিগনার্ড বিকারক ব্যবহার করে—গ্রিগনার্ড বিকারক ও ফর্মিক এস্টারের (ইথাইল ফর্মেট) বিক্রিয়ায় অ্যালডিহাইড উৎপন্ন হয়। অতিরিক্ত গ্রিগনার্ড বিকারকের উপস্থিতিতে 2° অ্যালকোহল উৎপন্ন হয়। তাই ইথাইল ফর্মেটের মধ্যে গ্রিগনার্ড বিকারকের ইথার দ্রবণ ধীরে ধীরে যোগ করে (উলটো সংযোজন পদ্ধতি) বিক্রিয়া ঘটানো হয়।

$$RMgX + \underset{\text{ইথাইল ফর্মেট}}{H\text{—}\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}\text{—}OC_2H_5} \xrightarrow{\text{শুষ্ক ইথার}} \left[\begin{matrix} H & & OMgX \\ & C & \\ R & & OC_2H_5 \end{matrix}\right] \xrightarrow{H_3O^+} RCHO + Mg(OH)X + C_2H_5OH$$

(6) অ্যালকিন থেকে ঃ উপযুক্ত অ্যালকিনের ওজোনাইডের আর্দ্রবিশ্লেষণের ফলে অ্যালডিহাইড উৎপন্ন হয়।

$$RCH=CHR \xrightarrow{O_3} \underset{O\text{————}O}{RCH\text{—}O\text{—}CHR} \xrightarrow{H_2O/Zn} 2RCHO + H_2O$$

$$RCH=CHR' \xrightarrow{O_3} \underset{O\text{————}O}{RCH\text{—}O\text{—}CHR'} \xrightarrow{H_2O/Zn} RCHO + R'CHO + H_2O$$

(7) অ্যালকাইন (অ্যাসিটিলিন) থেকে—মারকিউরিক সালফেটের (অনুঘটক) উপস্থিতিতে 60º—80ºC তাপমাত্রায় 20% সালফিউরিক অ্যাসিড দ্রবণে অ্যাসিটিলিন গ্যাস চালনা করলে অ্যাসিট্যালডিহাইড উৎপন্ন হয়।

$$HC\equiv CH + H_2O \xrightarrow[60^\circ\text{—}80^\circ C]{HgSO_4,\ 20\%\ H_2SO_4} CH_3CHO$$

এই প্রক্রিয়ায় শুধু অ্যাসিট্যালডিহাইড প্রস্তুত করা যায়, অন্য অ্যালকাইনের ক্ষেত্রে এই পদ্ধতিতে কিটোন উৎপন্ন হয়।

(8) জেম ডাইহ্যালাইড যৌগ থেকে—জেম ডাইহ্যালাইডকে লঘু জলীয় সোডিয়াম হাইড্রক্সাইড বা পটাশিয়াম হাইড্রক্সাইড দ্বারা আর্দ্রবিশ্লেষণ করলে অ্যালডিহাইড উৎপন্ন হয়।

$$RCH\begin{matrix} \diagup Cl \\ \diagdown Cl \end{matrix} \xrightarrow[\text{দ্রবণ}]{KOH} \underset{\text{অস্থায়ী}}{\left[RCH\begin{matrix} \diagup OH \\ \diagdown OH \end{matrix} \right]} \longrightarrow RCHO + H_2O$$

(9) 1, 2-গ্লাইকল থেকে— লেড ট্রেটা অ্যাসিটেট দ্বারা জারিত হয়ে 1, 2-গ্লাইকল অ্যালডিহাইডে পরিণত হয়।

$$R-\underset{OH}{\underset{|}{CH}}-\underset{OH}{\underset{|}{CH}}-R' \xrightarrow{Pb(OAc)_4} RCHO + R'CHO$$

(10) অক্সো পদ্ধতি (Oxo process) **ঃ কোবাল্ট কার্বনিল হাইড্রাইড** $[Co(CO)_4H]$ অনুঘটকের উপস্থিতিতে, অ্যালকিন, **হাইড্রোজেন** এবং **কার্বন মনোক্সাইডের** মিশ্রণ উচ্চ তাপ এবং চাপে বিক্রিয়া করে সমাবয়বী অ্যালডিহাইডের মিশ্রণ উৎপন্ন হয়। আংশিক পাতন প্রক্রিয়ার সাহায্যে এদের পৃথক করা হয়।

$$\underset{\text{প্রোপিন}}{2CH_3CH=CH_2} + 2H_2 + 2CO \xrightarrow{150^\circ C-200^\circ C} \underset{\text{বিউটান্যাল}}{CH_3CH_2CH_2CHO} + \underset{\text{2-মিথাইল প্রোপান্যাল}}{CH_3-CH(CH_3)-CHO}$$

5.3. অ্যালডিহাইডের সাধারণ ধর্ম ও বিক্রিয়া [General properties and reactions of aldehydes]

(A) ভৌত ধর্ম (Physical properties) ঃ অ্যালডিহাইড শ্রেণির প্রথম যৌগ ফর্ম্যালডিহাইড বর্ণহীন গ্যাসীয়, পরের যৌগ অ্যাসিট্যালডিহাইড নিম্ন স্ফুটনাঙ্কের বর্ণহীন উদ্‌বায়ী তরল পদার্থ। পরের যৌগগুলি তরল, উচ্চতর অ্যালডিহাইডগুলি কঠিন।

(B) রাসায়নিক বিক্রিয়া (Chemical reactions) ঃ

1. জারণ (Oxidation) ঃ

(i) অ্যালডিহাইডকে সহজেই জারিত করা যায়। **জারণের ফলে সম-সংখ্যক কার্বন পরমাণুযুক্ত অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।** সাধারণত **সোডিয়াম বা পটাশিয়াম ডাইক্রোমেট** ও গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের মিশ্রণের সঙ্গে উত্তপ্ত করলে কিংবা **অ্যালডিহাইড বাষ্প ও বায়ু বা অক্সিজেনের মিশ্রণ ম্যাঙ্গানাস সালফেট** $(MgSO_4)$ অনুঘটকের উপর দিয়ে চালনা করলে অ্যালডিহাইড জারিত হয়ে অ্যাসিডে পরিণত হয়।

$$\underset{\text{অ্যালডিহাইড}}{R-CHO} \xrightarrow[K_2Cr_2O_7/H_2SO_4]{[O]} \underset{\text{অ্যাসিড}}{R-COOH}$$

● **অ্যালডিহাইডের বিজারণ ধর্ম ঃ** যেহেতু সহজেই জারিত হয়, সেজন্য **অ্যালডিহাইড শক্তিশালী বিজারক।**

(i) অ্যামোনিয়াযুক্ত সিলভার নাইট্রেট দ্রবণ বা টোলেন্স বিকারকে (Tollen's Reagent) অ্যালডিহাইড মিশিয়ে গরম করলে $Ag^+ (Ag_2O)$ বিজারিত হয়ে ধাতব Ag উৎপন্ন করে। পাত্রের গায়ে ধাতব সিলভার জমা হয়ে আয়নার মতো দেখায়। অ্যালডিহাইড অ্যাসিডে জারিত হয়।

$$R-CHO + Ag_2O \longrightarrow R-COOH + 2Ag\downarrow$$

[**টেলেন্স বিকারক প্রস্তুতি ঃ (i) 3 গ্রাম $AgNO_3$-কে 30 ml পাতিত জলে দ্রবীভূত করে $AgNO_3$ দ্রবণ প্রস্তুত করা হয়। (ii)** 3 g NaOH 30 ml পাতিত জলে দ্রবীভূত করে কস্টিক-সোডা দ্রবণ প্রস্তুত করা হয়। এর পরে একটি টেস্টটিউবে সমআয়তন (2 ml) $AgNO_3$ এবং NaOH-এর দ্রবণ মেশানো হয়। এর ফলে AgOH-এর অধঃক্ষেপ পড়ে। এর মধ্যে ফোঁটা ফোঁটা করে লঘু NH_4OH-এর দ্রবণ যোগ করা হয় যতক্ষণ পর্যন্ত না প্রথমে আসা অধঃক্ষেপ দ্রবীভূত হয়ে যায়। এই দ্রবণে $[Ag(NH_3)_2]^+OH^-$ আয়ন উপস্থিত থাকে। অ্যালডিহাইড দ্বারা $[Ag(NH_3)_2]^+$ আয়নটির বিজারণে ধাতব Ag উৎপন্ন হয়। সুবিধার জন্য বিক্রিয়ায় আয়নটির পরিবর্তে Ag_2O হিসাবে দেখানো হয়।]

(ii) ফেলিং দ্রবণে (Fehling solution) অ্যালডিহাইড যোগ করে উত্তপ্ত করলে ফেলিং বিকারক বিজারিত হয়ে **লাল বর্ণের কিউপ্রাস অক্সাইড অধঃক্ষিপ্ত হয়** এবং অ্যালডিহাইড অ্যাসিডে জারিত হয়।

$$\underset{\text{অ্যালডিহাইড}}{R-CHO} + 2CuO \longrightarrow \underset{\text{অ্যাসিড}}{RCOOH} + \underset{\text{লাল বর্ণ}}{Cu_2O\downarrow}$$

● **ফেলিং দ্রবণ ঃ** ফেলিং দ্রবণটি ফেলিং নং I এবং ফেলিং নং II-এর সম-আয়তনীয় মিশ্রণ। মিশ্রণটি Cu^{2+}-এর নীল বর্ণের জটিল লবণ—বিজারণ বিক্রিয়াটি বোঝার সুবিধার জন্য ফেলিং দ্রবণকে CuO রূপে প্রকাশ করা হয়।

ফেলিং নং I হল কপার সালফেটের জলীয় দ্রবণ এবং **ফেলিং নং II হল কস্টিক সোডা দ্রবণে সোডিয়াম পটাশিয়াম টারট্রেটের বা রচেলি সল্টের** (Rachelle salt) দ্রবণ।

এই দুটি বিকারক অ্যালডিহাইডকে জারিত করলেও কিটোনকে জারিত করতে পারে না তাই এই দুটি বিকারকের সাহায্যে অ্যালডিহাইড এবং কিটোনের পার্থক্য নির্ণয় করা যায়।

2. বিজারণ (Reduction) **: (i)** অ্যালডিহাইড সহজেই বিজারিত হয়ে প্রাইমারি অ্যালকোহলে পরিণত হয়।

$$RCHO \xrightarrow{[H]} RCH_2OH$$

Ni, Pt, Pd প্রভৃতি অনুঘটকের উপস্থিতিতে হাইড্রোজেন (হাইড্রোজেনেশন), সোডিয়াম অ্যামালগাম ও জল, ধাতব সোডিয়াম ও অ্যালকোহল, লিথিয়াম অ্যালুমিনিয়াম হাইড্রাইড ($LiAlH_4$), সোডিয়াম বেরোহাইড্রাইড ($NaBH_4$), আইসোপ্রোপানল ও অ্যালুমিনিয়াম আইসোপ্রপক্সাইড (মিরভাইন-পনডর্ফ-ভারলে বিজারণ—M.P.V. reduction) ইত্যাদি অ্যালডিহাইডকে প্রাইমারি অ্যালকোহলে বিজারিত করে।

(ii) ক্লিমেনসন বিজারণ (Clemmensen reduction) **:** এই বিক্রিয়ায় অ্যালডিহাইড ও কিটোনের কার্বনিল গ্রুপ ($>C=O$) বিজারিত হয়ে মিথিলিন গ্রুপে ($>CH_2$) পরিণত হয়ে হাইড্রোকার্বন উৎপন্ন করে। কার্বনিল যৌগকে (অ্যালডিহাইড ও কিটোন) জিঙ্ক অ্যামালগাম ও গাঢ় HCl সহ উত্তপ্ত করলে কার্বনিল যৌগ বিজারিত হয়ে সম্পৃক্ত হাইড্রোকার্বন উৎপন্ন করে।

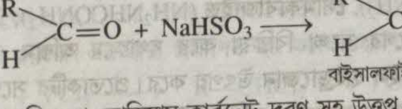
$$RCHO \xrightarrow[\text{গাঢ় HCl}]{Zn/Hg} RCH_3 \qquad \underset{\text{কিটোন}}{RCOR} \xrightarrow[\text{গাঢ় HCl}]{Zn/Hg} \underset{\text{অ্যালকেন}}{R{-}CH_2{-}R}$$

আবিষ্কারক **ক্লিমেনসনের নামানুসারে** এই বিক্রিয়াকে **ক্লিমেনসন** বিজারণ বলা হয়।

(iii) উলফ্-কিশনার বিজারণ (Wolff-Kishner reduction) **:** অ্যালডিহাইড বা কিটোন যৌগের সঙ্গে ইথিলিন গ্লাইকল মাধ্যমে হাইড্রাজিন ও তীব্র ক্ষারক KOH বা সোডিয়াম ইথোক্সাইড যোগ করে 180°C-এ উত্তপ্ত করলে কার্বনিল যৌগ বিজারিত হয়ে অ্যালকেন উৎপন্ন করে। প্রথমে কার্বনিল যৌগ হাইড্রাজিনের সাথে বিক্রিয়ায় হাইড্রাজোন যৌগ উৎপন্ন হয়। হাইড্রাজোন বিজারিত হয়ে হাইড্রোকার্বনে পরিণত হয়। এই বিক্রিয়াতেও ক্লিমেনসন বিজারণের মতো $>C=O$ গ্রুপ বিজারিত হয়ে মিথিলিন ($>CH_2$) গ্রুপে পরিণত হয়।

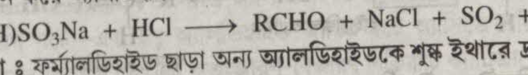
$$R{-}CHO + H_2N{-}NH_2 \longrightarrow \underset{\text{হাইড্রাজোন}}{R{-}CH{=}N{-}NH_2} \xrightarrow[180^\circ C]{C_2H_5ONa} \underset{\text{অ্যালকেন}}{R{-}CH_3}$$

3. যুত বিক্রিয়া : উপযুক্ত বিকারকের সঙ্গে অ্যালডিহাইডের বিক্রিয়ায় বিকারকটি $>C{=}O$ মূলকের দ্বি-বন্ধনে যুক্ত হয়। আবার $>C{=}O$ মূলকটির O পরমাণুটি আংশিক নেগেটিভ তড়িৎগ্রস্ত এবং C পরমাণুটি আংশিক পজিটিভ তড়িৎগ্রস্ত হয়ে থাকে, যেহেতু O পরমাণু C-এর চেয়ে অনেক বেশি ইলেকট্রোনেগেটিভ। তাই যুত বিক্রিয়ার সময় বিকারকের পজিটিভ অংশ সর্বদা O পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত হয়।



কিটোন যৌগে কার্বনিল মূলক থাকায় কিটোন ও অ্যালডিহাইডের মতো যুত বিক্রিয়া করে।

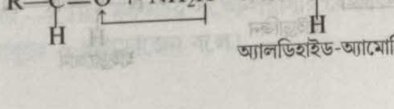
(i) সোডিয়াম বাই সালফাইটের সঙ্গে : সোডিয়াম বাই সালফাইটের সম্পৃক্ত জলীয় দ্রবণের সঙ্গে অ্যালডিহাইড মিশিয়ে ঝাঁকালে কঠিন বাইসালফাইট যৌগ কেলাসিত হয়ে অধঃক্ষেপ পড়ে।



বাইসালফাইট যুত-যৌগকে লঘু অ্যাসিড বা সোডিয়াম কার্বনেট দ্রবণ সহ উত্তপ্ত করলে অ্যালডিহাইড ফিরে পাওয়া যায়। সেজন্য বাইসালফাইট যুত-যৌগ গঠন করে অ্যালডিহাইডকে কার্বনিল নয় এমন যৌগ থেকে পৃথক করা যায় এবং বিশুদ্ধ করা যায়।

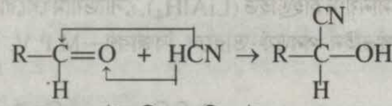
$$R{-}CH(OH)SO_3Na + HCl \longrightarrow RCHO + NaCl + SO_2 + H_2O$$

(ii) অ্যামোনিয়ার সঙ্গে বিক্রিয়া : ফর্ম্যালডিহাইড ছাড়া অন্য **অ্যালডিহাইডকে শুষ্ক ইথারে দ্রবীভূত** করে তার মধ্য দিয়ে অ্যামোনিয়া গ্যাস চালনা করলে **অ্যালডিহাইড-অ্যামোনিয়া** যুত যৌগ উৎপন্ন হয়।



অ্যালডিহাইড-অ্যামোনিয়াকে অ্যাসিডের সঙ্গো মিশিয়ে পাতিত করলে অ্যালডিহাইড পাতিত হয়। এই বিক্রিয়ার সাহায্যে অ্যালডিহাইডকে বিশুদ্ধ করা হয়। **সাধারণ উষ্ণতায় কিটোন NH_3-এর সঙ্গো যুত যৌগ উৎপন্ন করে না।**

(iii) হাইড্রোজেন সায়ানাইডের সঙ্গো ঃ অ্যালডিহাইডের সঙ্গো হাইড্রোজেন সায়ানাইড যুক্ত হয়ে **সায়ানোহাইড্রিন** যৌগ উৎপন্ন করে। অ্যালডিহাইডের সঙ্গো সোডিয়াম সায়ানাইড ও লঘু সালফিউরিক অ্যাসিডের বিক্রিয়া ঘটিয়ে সায়ানোহাইড্রিন উৎপন্ন করা হয়।

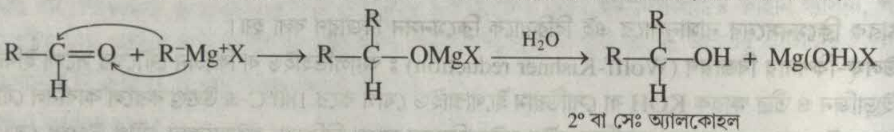


সায়ানোহাইড্রিনকে আর্দ্র-বিশ্লেষিত করলে α-হাইড্রক্সি অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।

$$R—CH(OH)CN \xrightarrow{H^+/H_2O} R—CH(OH)COOH$$

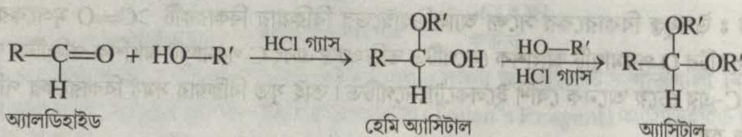
α-হাইড্রক্সি অ্যাসিড

(iv) গ্রিগনার্ড বিকারকের সঙ্গো বিক্রিয়া ঃ গ্রিগনার্ড বিকারকের সঙ্গো বিক্রিয়ায় প্রথমে যে যুতযৌগ উৎপন্ন হয় তার আর্দ্রবিশ্লেষণের ফলে **সেকেন্ডারি অ্যালকোহল** উৎপন্ন হয়। **ফর্ম্যালডিহাইডের ক্ষেত্রে প্রাইমারি অ্যালকোহল** উৎপন্ন হয়।

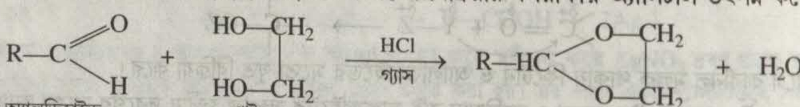


(v) অ্যালকোহলের সঙ্গো বিক্রিয়া—অ্যাসিটাল যৌগ গঠন ঃ হাইড্রোজেন ক্লোরাইড গ্যাসের উপস্থিতিতে অ্যালডিহাইড, অ্যালকোহলের সঙ্গো বিক্রিয়া করে **অ্যাসিটাল** (acetal) যৌগ উৎপন্ন করে।

প্রথমে এক অণু আলকোহল বিক্রিয়া করে **হেমি অ্যাসিটাল** (Hemi acetal) যৌগ গঠিত হয় যা পরে আর এক অণু অ্যালকোহলের সঙ্গো বিক্রিয়া করে **অ্যাসিটাল যৌগে** পরিণত হয়। অ্যাসিটাল হল 1, 1-ডাই অলের ডাই ইথার। অ্যাসিটাল অ্যাসিড দ্বারা আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়—ক্ষার দ্বারা হয় না।

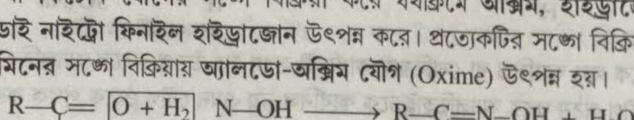


শুষ্ক HCl-এর উপস্থিতিতে **অ্যালডিহাইড, গ্লাইকলের সঙ্গো বিক্রিয়ায় বলয়াকার অ্যাসিটাল** উৎপন্ন করে।

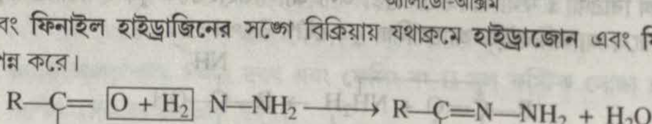


4. যে বিক্রিয়ায় জল মুক্ত হয় (কনডেনসন) ঃ কতকগুলি বিকারক, যেমন **হাইড্রক্সিল অ্যামিন** (NH_2OH), **হাইড্রাজিন** ($NH_2—NH_2$), **ফিনাইল হাইড্রাজিন** ($C_6H_5NHNH_2$), **সেমিকার্বাজাইড** ($NH_2NHCONH_2$), **2, 4-ডাই নাইট্রো ফিনাইল হাইড্রাজিন** প্রভৃতি অ্যালডিহাইড বা **কিটোন** যৌগের সঙ্গো বিক্রিয়া করে যথাক্রমে **অক্সিম, হাইড্রাজোন, ফিনাইল হাইড্রাজোন, সেমিকার্বাজোন, 2, 4-ডাই নাইট্রো ফিনাইল হাইড্রাজোন** উৎপন্ন করে। প্রত্যেকটির সঙ্গো বিক্রিয়ায় জল মুক্ত হয়।

(i) হাইড্রক্সিল অ্যামিনের সঙ্গো বিক্রিয়ায় **অ্যালডো-অক্সিম যৌগ** (Oxime) উৎপন্ন হয়।



(ii) হাইড্রাজিন এবং **ফিনাইল হাইড্রাজিনের** সঙ্গো বিক্রিয়ায় যথাক্রমে **হাইড্রাজোন** এবং **ফিনাইল হাইড্রাজোন** নামে কেলাসাকার পদার্থ উৎপন্ন করে।



$$\underset{\underset{H}{|}}{R-C}=\boxed{O + H_2}\,\underset{\text{ফিনাইল হাইড্রাজিন}}{N-NHC_6H_5} \longrightarrow \underset{\text{ফিনাইল হাইড্রাজোন}}{\underset{\underset{H}{|}}{R-C}=N-NHC_6H_5} + H_2O$$

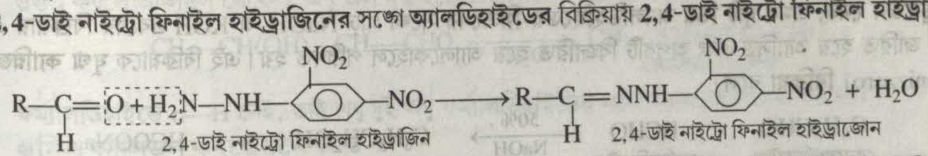
(iii) সেমিকার্বাজাইড (Semi-Carbazide)-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় কঠিন **সেমিকার্বাজোন যৌগ** উৎপন্ন হয়।

$$\underset{\underset{H}{|}}{R-C}=O + \underset{\text{সেমিকার্বাজাইড}}{H_2N-NHCONH_2} \longrightarrow \underset{\underset{H}{|}}{R-C}=\underset{\text{সেমিকার্বাজোন}}{N-NHCONH_2} + H_2O$$

● **ব্রাডির বিকারক ঃ** বিকারকটি **2,4-ডাই নাইট্রোফিনাইল হাইড্রাজিন** বা **D.N.P.** নামেও পরিচিত। 2,4-ডাই নাইট্রো ফিনাইল হাইড্রাজিনকে মিথানল এবং গাঢ় H_2SO_4-এ দ্রবীভূত করে ব্রাডির বিকারক প্রস্তুত করা হয়।

কার্বনিল গ্রুপ যুক্ত যৌগের সঙ্গে ব্রাডির বিকারকের বিক্রিয়ায় **2,4-ডাই নাইট্রো ফিনাইল হাইড্রাজোন** উৎপন্ন হয়। এটি রঙিন-কমলা হলুদ বর্ণের কেলাসিত পদার্থ। তাই এই পরীক্ষাটির সাহায্যে জৈব যৌগে কার্বনিল গ্রুপের উপস্থিতি নির্ণয় করা হয়। এই যৌগগুলির কেলাসের নির্দিষ্ট গলনাঙ্ক থাকায় এগুলির নির্ণয় দ্বারা কার্বনিল যৌগকে শনাক্ত করা সম্ভব হয়। যেমন,

2,4-ডাই নাইট্রো ফিনাইল হাইড্রাজিনের সঙ্গে অ্যালডিহাইডের বিক্রিয়ায় 2,4-ডাই নাইট্রো ফিনাইল হাইড্রাজোন উৎপন্ন হয়।



[হাইড্রক্সিল অ্যামিন, হাইড্রাজিন, ফিনাইল হাইড্রাজিন প্রভৃতি যৌগগুলি খুব সহজে বায়ুর O_2 দ্বারা জারিত হয়ে যায় কিন্তু যৌগগুলির লবণ সহজে জারিত হয় না। যৌগগুলি ক্ষারীয় বলে অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়া দ্বারা লবণ (হাইড্রোক্লোরাইড) উৎপন্ন করে ওদের রাখা হয়। এই লবণগুলি কার্বনিল যৌগের সঙ্গে বিক্রিয়া করে না, তাই কার্বনিল যৌগের সঙ্গে এই লবণগুলির বিক্রিয়া সোডিয়াম অ্যাসিটেটের উপস্থিতিতে ঘটানো হয়। সোডিয়াম অ্যাসিটেট এই লবণগুলির সঙ্গে বিক্রিয়া করে প্রথমে মূল যৌগগুলিকে মুক্ত করে—এই মূল যৌগ পরে কার্বনিল যৌগের সঙ্গে বিক্রিয়া করে।]

যেমন, কোনো অ্যালডিহাইডের সঙ্গে হাইড্রক্সিল অ্যামিন হাইড্রোক্লোরাইড ও সোডিয়াম অ্যাসিটেটের বিক্রিয়া দুধাপে অক্সিম উৎপন্ন হয়।

(i) $NH_2OH.HCl + CH_3COONa \longrightarrow NH_2OH + CH_3COOH + NaCl$

(ii) $\underset{\underset{H}{|}}{R-C}=O + H_2NOH \longrightarrow \underset{\underset{H}{|}}{R-C}=\underset{\text{অক্সিম}}{N-OH}$

সমগ্র বিক্রিয়া ঃ $RCHO \xrightarrow[CH_3COONa]{NH_2OH.HCl} RCH=NOH$

অক্সিম, হাইড্রাজোন, সেমিকার্বাজোন প্রভৃতি যৌগগুলিকে লঘু অ্যাসিডের সঙ্গে উত্তপ্ত করলে কার্বনিল (অ্যালডিহাইড বা কিটোন) যৌগটি ফিরে পাওয়া যায়।

5. ফসফরাস পেন্টাক্লোরাইডের সঙ্গে ঃ PCl_5-এর সঙ্গে অ্যালডিহাইডের বিক্রিয়ায় **জেম ডাইক্লোরো অ্যালকেন** যৌগ উৎপন্ন হয়। **এই বিক্রিয়ায় HCl উৎপন্ন হয় না। এর দ্বারা প্রমাণিত হয় অ্যালডিহাইডে OH গ্রুপ নেই।**

$$R-CHO + PCl_5 \longrightarrow \underset{\text{ডাইক্লোরো অ্যালকেন}}{R-CHCl_2} + POCl_3$$

6. ক্যান্নিজারো বিক্রিয়া (Cannizzaro reaction) **ঃ** যে সমস্ত অ্যালডিহাইডে α-হাইড্রোজেন পরমাণু নেই, তাদের গাঢ় ক্ষার দ্রবণে উত্তপ্ত করলে স্বতঃজারণ-বিজারণ ঘটে—এক অণু অ্যালডিহাইড জারিত হয়ে অ্যাসিডে পরিণত হয় এবং অপর অণু অ্যালডিহাইড বিজারিত হয়ে অ্যালকোহলে পরিণত হয়। এই স্বতঃজারণ-বিজারণ বিক্রিয়াটি ক্যান্নিজারো বিক্রিয়া নামে পরিচিত।

বেনজালডিহাইড প্রভৃতি অ্যারোমেটিক অ্যালডিহাইড এবং ফর্ম্যালডিহাইড, ট্রাইমিথাইল অ্যাসিট্যালডিহাইড প্রভৃতি অ্যালিফ্যাটিক অ্যালডিহাইডের ক্ষেত্রে এই বিক্রিয়াটি হয়; কারণ ফর্ম্যালডিহাইড, বেনজালডিহাইড ইত্যাদি অ্যালডিহাইডে α-হাইড্রোজেন থাকে না। (অ্যালডিহাইডের —CHO মূলকটির সঙ্গে সরাসরি যে কার্বন পরমাণুটি যুক্ত থাকে তাকে α-কার্বন বলে। এই α-কার্বনের সঙ্গে যুক্ত H পরমাণুকে α-হাইড্রোজেন বলে।

যেমন : (i) NaOH বা KOH-এর গাঢ় দ্রবণের (50%) সঙ্গো ফর্ম্যালডিহাইডের দ্রবণ মিশিয়ে সামান্য উত্তপ্ত করলে, বিক্রিয়াটিতে দুই অণু ফর্ম্যালডিহাইড অংশ নেয়—**একটি অণু জারিত হয়ে ফর্মিক অ্যাসিডে পরিণত হয় এবং অন্যটি বিজারিত হয়ে মিথাইল অ্যালকোহলে পরিণত হয়।** উৎপন্ন অ্যাসিড ক্ষার দ্রবণে Na বা K লবণ হিসাবে থাকে।

$$\underset{\text{ফর্ম্যালডিহাইড}}{HCHO} + HCHO \xrightarrow[\text{NaOH}]{\Delta} \underset{\text{মিথানল}}{CH_3OH} + \underset{\text{সোডিয়াম ফর্মেট}}{HCOONa}$$

(বিজারিত: HCHO → CH_3OH; জারিত: HCHO → HCOONa)

(ii) $$\underset{\text{ট্রাইমিথাইল অ্যাসিট্যালডিহাইড}}{2(CH_3)_3CCHO} \xrightarrow[\Delta]{\text{NaOH}} \underset{\text{2, 2-ডাইমিথাইল 1-প্রোপানল}}{(CH_3)_3CCH_2OH} + \underset{\text{2, 2-ডাইমিথাইল সোডিয়াম প্রোপানোয়েট}}{(CH_3)_3CCOONa}$$

(iii) $$\underset{\text{বেনজালডিহাইড}}{2C_6H_5CHO} \xrightarrow[\Delta]{\text{NaOH}} \underset{\text{বেনজাইল অ্যালকোহল}}{C_6H_5CH_2OH} + \underset{\text{সোডিয়াম বেনজয়েট}}{C_6H_5COONa}$$

α-হাইড্রোজেন নেই, এমন দুটি ভিন্ন অ্যালডিহাইডের মিশ্রণের সঙ্গো গাঢ় NaOH বা KOH দ্রবণের বিক্রিয়ায় একটি অ্যালডিহাইড জারিত হয়ে অ্যাসিড এবং অপরটি বিজারিত হয়ে অ্যালকোহলে পরিণত হয়। এই বিক্রিয়াকে **যুগ্ম ক্যান্নিজারো** (Cross Cannizzaro) **বিক্রিয়া** বলে।

(iv) $$\underset{\text{বেনজালডিহাইড}}{C_6H_5CHO} + \underset{\text{ফর্ম্যালডিহাইড}}{HCHO} \xrightarrow[\text{NaOH}]{50\%} \underset{\text{বেনজাইল অ্যালকোহল}}{C_6H_5CH_2OH} + \underset{\text{সোডিয়াম ফরমেট}}{HCOONa}$$

(v) $$\underset{\text{ট্রাই মিথাইল অ্যাসিট্যালডিহাইড}}{(CH_3)_3CCHO} + HCHO \xrightarrow[\Delta]{\text{NaOH}} \underset{\text{2, 2-ডাইমিথাইল 1-প্রোপানল}}{(CH_3)_3CCH_2OH} + \underset{\text{সোডিয়াম ফরমেট}}{HCOONa}$$

(vi) অন্তঃআণবিক ক্যান্নিজারো বিক্রিয়া : গ্লাইঅক্সালের ক্যান্নিজারো বিক্রিয়ায় **গ্লাইকোলিক অ্যাসিড** উৎপন্ন হয়। এই বিক্রিয়ায় গ্লাইঅক্সালের একটি CHO গ্রুপ OH গ্রুপে বিজারিত হয় এবং অপরটি COOH গ্রুপে জারিত হয়।

$$\underset{\text{গ্লাইঅক্সাল}}{\begin{matrix} CHO \\ | \\ CHO \end{matrix}} \xrightarrow[\Delta]{\text{NaOH}} \underset{\text{গ্লাইকোলিক অ্যাসিড}}{\begin{matrix} COOH \\ | \\ CH_2OH \end{matrix}}$$

7. টিসেঙ্কো বিক্রিয়া (Tischenko reaction) **: অ্যালুমিনিয়াম-ইথোক্সাইডের [$Al(OEt)_3$] উপস্থিতিতে α-H যুক্ত অ্যালডিহাইড, ক্যান্নিজারো বিক্রিয়ায় অংশ নেয়।** এই বিক্রিয়ায় উৎপন্ন অ্যাসিড ও অ্যালকোহল এস্টার রূপে সংযুক্ত অবস্থায় উৎপন্ন হয়। এই বিক্রিয়ার সাহায্যে **অ্যালডিহাইডকে এক ধাপে এস্টারে পরিণত করা যায়।**

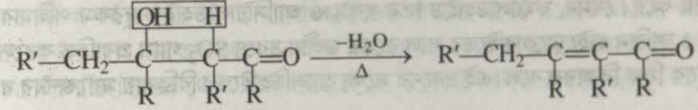
$$2CH_3CHO \xrightarrow{Al(OC_2H_5)_3} \underset{\text{ইথাইল অ্যাসিটেট}}{CH_3COOC_2H_5}$$

8. অ্যালডল কনডেনসেশন (Aldol Condensation) **: একই রকম বা দুটি বিভিন্ন রকমের α-হাইড্রোজেনবিশিষ্ট কার্বনিল যৌগের অণু, লঘু অ্যাসিড বা ক্ষার দ্রবণের সাহায্যে পরস্পর যুক্ত হয়ে বিটা-হাইড্রক্সি কার্বনিল যৌগ উৎপন্ন করে। এই বিক্রিয়াকে অ্যালডল কনডেনসেশন বলে।** যে বিটা হাইড্রক্সি-কার্বনিল যৌগ উৎপন্ন হয়, তাকে **অ্যালডল** (Aldol) বলে। প্রত্যেক বিক্রিয়ায় একটি অ্যালডিহাইড বা কিটোন অণুর α-কার্বন পরমাণু, অপর অ্যালডিহাইড বা কিটোন অণুর কার্বনিল C-পরমাণুর সঙ্গো যুক্ত হয় এবং α-H পরমাণুটি অপর অণুর O পরমাণুর সঙ্গো যুক্ত হয়ে OH মূলক গঠন করে। **অ্যালডল যৌগে অ্যালডিহাইড (—CHO) এবং অ্যালকোহল (—OH) উভয় গ্রুপ বর্তমান থাকে।**

$$R'-CH_2-\underset{R}{\overset{O}{\overset{\|}{C}}} + R'-\underset{\alpha\text{ কার্বন}}{\overset{H}{\overset{|}{CH}}}-\underset{R}{\underset{|}{C}}=O \longrightarrow \underset{\text{অ্যালডল যৌগ}}{R'-CH_2-\underset{R}{\underset{|}{\overset{OH}{\overset{|}{C}}}}-\underset{R'}{\underset{|}{CH}}-\underset{R}{\underset{|}{C}}=O}$$

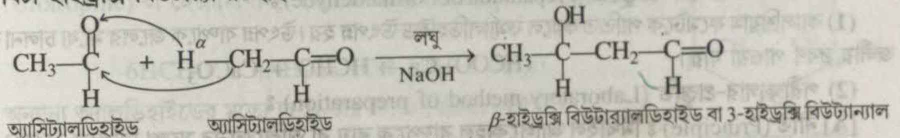
R = হাইড্রোজেন হলে যৌগটি অ্যালডিহাইড হয়। R = অ্যালকিল মূলক হলে যৌগটি কিটোন হয়।

অ্যালডল যৌগকে উত্তপ্ত করলে এক অণু জল মুক্ত হয়ে অসম্পৃক্ত যৌগে পরিণত হয়—



● **উদাহরণ ঃ**

(i) সাধারণ উষ্ণতায় লঘু NaOH বা Na_2CO_3 অথবা লঘু অ্যাসিডের উপস্থিতিতে দুই অণু অ্যাসিট্যালডিহাইড পরস্পর যুক্ত হয়ে অ্যালডল অর্থাৎ **বিটা-হাইড্রক্সি বিউটার‍্যালডিহাইড** উৎপন্ন করে।



উত্তপ্ত করলে অ্যালডল থেকে 1 অণু জল মুক্ত হয়ে ক্রোটোন্যালডিহাইড উৎপন্ন হয়।

$$CH_3—CH(OH)—CH_2—CHO \xrightarrow[-H_2O]{\text{তাপ}} CH_3—CH=CH—CHO$$

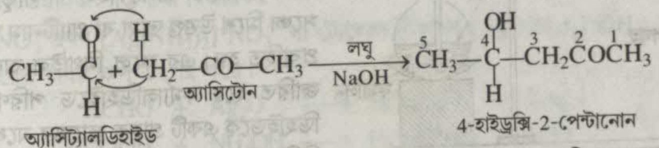
ক্রোটোন্যালডিহাইড

ফর্ম্যালডিহাইডে α—H নেই, তাই শুধু দুই অণু ফর্ম্যালডিহাইডের মধ্যে অ্যালডল বিক্রিয়া হয় না।

● **মিশ্র অ্যালডল কনডেনসেশন ঃ**

α-হাইড্রোজেন বিশিষ্ট দুটি বিভিন্ন অ্যালডিহাইডের মিশ্রণ লঘু ক্ষারের উপস্থিতিতে বিক্রিয়া করে **অ্যালডল যৌগ** উৎপন্ন করে। এই বিক্রিয়াকে **মিশ্র অ্যালডল কনডেনসেশন** বলে।

(i) অ্যালডিহাইড এবং **কিটোনের** মধ্যে এই বিক্রিয়া হলে কিটোনের α-হাইড্রোজেন অ্যালডিহাইড গ্রুপে যুক্ত হয়ে অ্যালডল উৎপন্ন করে।



(iii) দুটি বিভিন্ন অ্যালডিহাইড, যার একটির মধ্যে α-হাইড্রোজেন বর্তমান কিন্তু অন্যটিতে α-হাইড্রোজেন নেই, এই দুই অ্যালডিহাইডের মিশ্রণও লঘু ক্ষারের উপস্থিতিতে বিক্রিয়া করে। যেমন, এক অণু **বেনজালডিহাইড** এবং এক অণু **অ্যাসিট্যালডিহাইড** লঘু ক্ষার দ্রবণের উপস্থিতিতে পরস্পর যুক্ত হয়ে **সিনাম্যালডিহাইড** উৎপন্ন করে।

$$\underset{\text{বেনজালডিহাইড}}{C_6H_5CHO} + CH_3CHO \xrightarrow{\text{লঘু NaOH}} C_6H_5CH(OH)—CH_2CHO \xrightarrow[\Delta]{-H_2O} \underset{\text{সিনাম্যালডিহাইড}}{C_6H_5CH=CH—CHO}$$

● **অ্যালডল কনডেনসেশন এবং ক্যানিজারো বিক্রিয়ার শর্তগুলির পার্থক্য দেখাও।**

(i) যে অ্যালডিহাইড বা কিটোনের অণুতে α-হাইড্রোজেন উপস্থিত থাকে সেই অ্যালডিহাইড বা কিটোন অ্যালডল বিক্রিয়া করে। এই বিক্রিয়াতে দুই অণু একই অ্যালডিহাইড অথবা দুই অণু একই কিটোন অথবা এক অণু অ্যালডিহাইডের সঙ্গে এক অণু কিটোনের বিক্রিয়া হয়।

অপরদিকে যে অ্যালডিহাইডের অণুতে α-হাইড্রোজেন থাকে না [যেমন, HCHO, C_6H_5CHO, $C(CH_3)_3CHO$] কেবল সেই অ্যালডিহাইডই এই ক্যানিজারো বিক্রিয়ায় সাড়া দেয়।

(ii) অ্যালডল বিক্রিয়াটি ঘটে লঘু (5—10%) NaOH বা KOH অথবা লঘু HCl দ্রবণের উপস্থিতিতে।

ক্যানিজারো বিক্রিয়াটি ঘটে অতি গাঢ় (40%) ক্ষার NaOH অথবা KOH দ্রবণের উপস্থিতিতে।

(iii) অ্যালডল বিক্রিয়াটি জারণ-বিজারণ বিক্রিয়া নয়—দুটি অণুর সংযোগে অ্যালডল যৌগ বা β-হাইড্রক্সি অ্যালডিহাইড বা কিটোন যৌগ উৎপন্ন হয়।

ক্যানিজারো বিক্রিয়াটিতে স্বতঃজারণ-বিজারণ ঘটে দুটি অণুর মধ্যে একটি অণু অপরটি দ্বারা অ্যাসিডে জারিত হয় এবং দ্বিতীয়টি প্রথমটি দ্বারা অ্যালকোহলে বিজারিত হয়।

9. বহুযৌগিকতা বা পলিমারিজেশন (Polymerisation) ঃ অ্যালডিহাইড যৌগ অ্যাসিড বা ক্ষারের সঙ্গে বিক্রিয়ায় বিভিন্ন বহুযৌগিক যৌগ উৎপন্ন করে। যেমন, ফর্ম্যালডিহাইড তিন রকম ও অ্যাসিট্যালডিহাইড দুরকম পলিমার গঠন করে।

10. সিফ বিকারক ঃ ফাক্সিন হাইড্রোক্লোরাইডের লাল রঙের জলীয় দ্রবণে SO_2 গ্যাস প্রবাহিত করলে ওই রং বিরঞ্জিত হয়ে বর্ণহীন হয়। এই দ্রবণটিকে **সিফ বিকারক** বলে। এই দ্রবণের সঙ্গে অ্যালডিহাইডের বিক্রিয়ায় **ম্যাজেন্টার রং আবার ফিরে আসে, দ্রবণটি লাল হয়।**

5.4. ফর্ম্যালডিহাইড [Formaldehyde or Methanal (HCHO)]

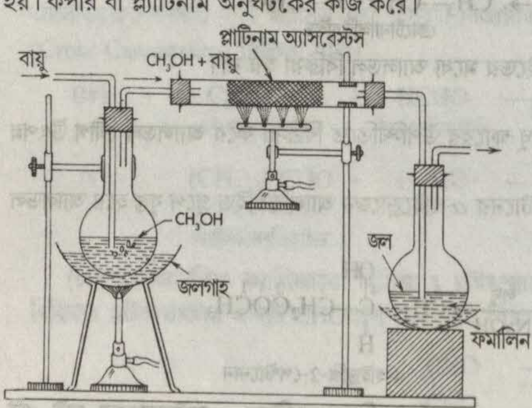
● **ফর্ম্যালডিহাইড প্রস্তুতি** (Preparation of Formaldehyde) ঃ

(1) ক্যালশিয়াম ফর্মেটকে পাতিত করলে ফর্ম্যালডিহাইড উৎপন্ন হয়। উৎপন্ন বাষ্পকে জলের মধ্যে চালনা করলে ফর্ম্যালডিহাইড জলীয় দ্রবণ পাওয়া যায়।

$$(HCOO)_2Ca \rightarrow HCHO + CaCO_3$$

(2) পরীক্ষাগার-প্রস্তুতি (Laboratory method of preparation) ঃ

[A] নীতি (Principle) ঃ **মিথাইল অ্যালকোহল বাষ্পকে বায়ু বা অক্সিজেনের** সঙ্গে মিশিয়ে 350ºC—400ºC **তাপমাত্রায় উত্তপ্ত কপার** বা **প্ল্যাটিনাম তারজালির উপর দিয়ে চালনা করলে** মিথাইল অ্যালকোহল জারিত হয়ে ফর্ম্যালডিহাইডে পরিণত হয়। কপার বা প্ল্যাটিনাম অনুঘটকের কাজ করে।



চিত্র 5.1 ঃ ফর্ম্যালডিহাইড প্রস্তুতি

$$CH_3OH + \frac{1}{2}O_2 \xrightarrow[400^\circ C]{Pt} HCHO + H_2O$$

[B] পদ্ধতি (Method) ঃ একটি ফ্লাস্কে মিথাইল অ্যালকোহল নিয়ে জলগাহে 40ºC উষ্ণতায় উত্তপ্ত করা হয়। একটি পাম্পের সাহায্যে ধীরে ধীরে ভিতরে বায়ু টানা হয়, এর ফলে বায়ু উষ্ণ মিথাইল অ্যালকোহলের মধ্য দিয়ে বুদবুদ সৃষ্টি করে বের হওয়ার সময় মিথাইল অ্যালকোহল বাষ্পীভূত হয়। বায়ু এই বাষ্পের সঙ্গে মিশে উত্তপ্ত তামা বা প্ল্যাটিনাম অ্যাসবেস্টসের উপর দিয়ে প্রবাহিত হয়। এর ফলে মিথাইল অ্যালকোহল বায়ুর O_2 দ্বারা জারিত হয়ে ফর্ম্যালডিহাইডে পরিণত হয়। উৎপন্ন ফর্ম্যাল-ডিহাইডকে একটি গ্রাহক ফ্লাস্কের মধ্যে জলে দ্রবীভূত করা হয়। বিক্রিয়াটিতে বায়ুর মিশ্রণ এমনভাবে নিয়ন্ত্রণ করতে হয় যেন ফর্মিক অ্যাসিড উৎপন্ন হতে না পারে।

এইভাবে প্রাপ্ত ফর্ম্যালডিহাইডের দ্রবণটিকে ফর্মালিন বলে। এতে 40% ফর্ম্যালডিহাইড, 52% জল ও 8% মিথাইল অ্যালকোহল থাকে।

● **শিল্প উৎপাদন** (Industrial or large scale production) ঃ

(a) মিথাইল অ্যালকোহল বাষ্প ও বায়ুর মিশ্রণ 400ºC তাপমাত্রায় সিলভার অনুঘটকের উপর চালনা করলে মিথাইল অ্যালকোহল জারিত হয়ে ফর্ম্যালডিহাইডে পরিণত হয়।

$$CH_3OH + \frac{1}{2}O_2 \xrightarrow[400^\circ C]{Ag} HCHO + H_2O$$

উৎপন্ন গ্যাস ঘনীভূত করলে যে তরল পাওয়া যায় তা ফর্ম্যালডিহাইড, মিথাইল অ্যালকোহল ও জলের মিশ্রণ। অতিরিক্ত মিথাইল অ্যালকোহল পাতন করে দূর করা হয়। এর ফলে যে মিশ্রণ পাওয়া যায় তাকে **ফর্মালিন** বলে। এতে 40% ফর্ম্যালডিহাইড, 8% মিথানল ও 52% জল থাকে।

(b) মিথাইল অ্যালকোহল বাষ্প 400ºC তাপমাত্রায় বায়ুর অনুপস্থিতিতে সিলভার অনুঘটকের উপর চালনা করলে মিথাইল অ্যালকোহলের ডিহাইড্রোজেনেশনের ফলে ফর্ম্যালডিহাইড উৎপন্ন হয়।

$$CH_3OH \xrightarrow[400^\circ C]{Ag} HCHO + H_2$$

● **ফর্ম্যালডিহাইডের ধর্ম ও বিক্রিয়া** (Properties and reactions of Formaldehyde) ঃ

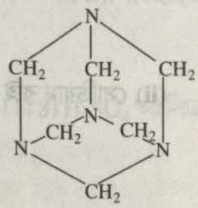
[A] ভৌত ধর্ম (Physical properties) ঃ

তীব্র ঝাঁঝালো গন্ধযুক্ত বর্ণহীন গ্যাস। জলে খুব দ্রাব্য। অ্যালকোহল ও ইথারে দ্রাব্য।

[B] রাসায়নিক বিক্রিয়া (Chemical reactions) ঃ

ফর্ম্যালডিহাইডের রাসায়নিক ধর্ম বেশির ভাগই অ্যালডিহাইডের সাধারণ ধর্মের মতো। অন্যান্য অ্যালডিহাইডের থেকে ফর্ম্যালডিহাইডের ধর্মের যে পার্থক্য দেখা যায় তার কারণ এর মধ্যে —CHO মূলকের সঙ্গে অ্যালকিল মূলকের পরিবর্তে H পরমাণু যুক্ত থাকে। সেজন্য অন্যান্য অ্যালডিহাইডের থেকে ফর্ম্যালডিহাইডের কয়েকটি বিশিষ্ট পার্থক্য আছে। নীচের আলোচনায় এই পার্থক্যগুলির উল্লেখ করা হল।

(1) অ্যামোনিয়ার সঙ্গে বিক্রিয়ায় ফর্ম্যালডিহাইড অ্যালডিহাইড-অ্যামোনিয়া নামে যুত যৌগ গঠন না করে **ইউরোট্রোপিন** (Urotropine) বা **হেক্সামিথিলিন টেট্রামিন** (Hexamethylene tetramine) যৌগ গঠন করে।



হেক্সামিথিলিন টেট্রামিন

$$6HCHO + 4NH_3 = (CH_2)_6N_4 + 6H_2O$$

(2) ফর্ম্যালডিহাইড অন্যান্য অ্যালডিহাইডের মতো PCl_5-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে না।

(3) ফর্ম্যালডিহাইড I_2/NaOH-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় আয়োডোফর্ম উৎপন্ন করে না।

(4) α-H পরমাণু না থাকায় ফর্ম্যালডিহাইড অ্যালডল বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করে না।

(5) ক্যান্নিজারো বিক্রিয়া ঃ ফর্ম্যালডিহাইডের অণুতে α-হাইড্রোজেন নেই, **সেইজন্য ক্যান্নিজারো বিক্রিয়া করে।** ফর্ম্যালডিহাইডকে গাঢ় NaOH দ্রবণের সঙ্গে উত্তপ্ত করলে এক অণু ফর্ম্যালডিহাইড জারিত হয়ে **ফর্মিক অ্যাসিড** এবং অপর অণু বিজারিত হয়ে **মিথাইল অ্যালকোহল** উৎপন্ন করে।

$$HCHO + HCHO \xrightarrow{NaOH} CH_3OH + HCOONa$$

(জারণ ; বিজারণ)

(6) বিজারণ ধর্ম ঃ ফর্ম্যালডিহাইড শক্তিশালী বিজারক।

(i) অ্যামোনিয়া যুক্ত $AgNO_3$ দ্রবণ $[Ag(NH_3)_2]^+NO_3^-$ বা টোলেন্স বিকারক $[Ag(NH_3)_2]^+OH^-$, ফর্ম্যালডিহাইড দ্বারা বিজারিত হয়ে ধাতব সিলভারের অধঃক্ষেপ উৎপন্ন করে।

$$HCHO + Ag_2O \longrightarrow HCOOH + 2Ag\downarrow$$

$$HCOOH + NH_4OH \longrightarrow HCOONH_4 + H_2O$$

(ii) ফর্ম্যালডিহাইডকে ফেলিং দ্রবণ (ফেলিং I ও II-এর সমআয়তনিক মিশ্রণ) সহ উত্তপ্ত করলে, ফেলিং দ্রবণকে বিজারিত করে লাল কিউপ্রাস অক্সাইডের অধঃক্ষেপ উৎপন্ন করে।

$$HCHO + 2CuO \longrightarrow HCOOH + Cu_2O\downarrow$$

$$HCOOH + NaOH \longrightarrow HCOONa + H_2O$$

(iii) ফর্ম্যালডিহাইড সিফ্ বিকারকের ম্যাজেন্টা বর্ণ ফিরিয়ে আনে।

(iv) ফর্ম্যালডিহাইড মারকিউরিক ক্লোরাইডকে বিজারিত করে মারকিউরাস ক্লোরাইডের সাদা অধঃক্ষেপ উৎপন্ন করে। মারকিউরাস ক্লোরাইড ফর্ম্যালডিহাইডের দ্বারা পুনরায় ধূসর রঙের ধাতব মারকারিতে বিজারিত হয়।

$$HCHO + 2HgCl_2 + H_2O \longrightarrow Hg_2Cl_2\downarrow + HCOOH + 2HCl$$

$$HCHO + Hg_2Cl_2 + H_2O \longrightarrow 2Hg\downarrow + HCOOH + 2HCl$$

অ্যাসিট্যালডিহাইড বা অন্যান্য অ্যালডিহাইড এই বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করে না। এই বিক্রিয়ার সাহায্যে ফর্ম্যালডিহাইড ও অ্যাসিট্যালডিহাইডের পার্থক্য করা যায়।

(7) বিজারণ ঃ ফর্ম্যালডিহাইড সহজে বিজারিত হয়ে সমসংখ্যক কার্বন পরমাণু যুক্ত প্রাইমারি অ্যালকোহল—মিথানল উৎপন্ন হয়।

$$HCHO \xrightarrow[H_2O]{Na/Hg} CH_3OH$$

(8) গ্রিগনার্ড বিকারকের সঙ্গে ফর্ম্যালডিহাইডের বিক্রিয়ায় উৎপন্ন যুত যৌগকে আর্দ্র-বিশ্লেষণ করলে প্রাইমারি অ্যালকোহল উৎপন্ন হয়।

$$HCHO + CH_3MgI \longrightarrow CH_3—CH_2—OMgI \xrightarrow{H_2O} CH_3CH_2OH + Mg(OH)I$$

[ফর্ম্যালডিহাইডের সঙ্গে, RMgX গ্রিগনার্ড বিকারকরূপে ব্যবহৃত হলে RCH_2OH সংকেতবিশিষ্ট প্রাইমারি অ্যালকোহল উৎপন্ন হয়। অন্যান্য অ্যালডিহাইডের সঙ্গে গ্রিগনার্ড বিকারকের বিক্রিয়ায় সেকেন্ডারি অ্যালকোহল উৎপন্ন হয়।]

(9) যুত বিক্রিয়া ঃ

(i) হাইড্রোজেন সায়ানাইডের সঙ্গে সায়ানোহাইড্রিন যুত যৌগ উৎপন্ন করে।

$$HCHO + HCN \longrightarrow H{-}\overset{\displaystyle CN}{\underset{\displaystyle H}{\overset{|}{\underset{|}{C}}}}{-}OH$$

(ii) সোডিয়াম বাই সালফাইটের সঙ্গে বাই সালফাইট যৌগ উৎপন্ন করে।

$$HCHO + NaHSO_3 \longrightarrow H{-}\overset{\displaystyle SO_3Na}{\underset{\displaystyle H}{\overset{|}{\underset{|}{C}}}}{-}OH$$

(10) (i) হাইড্রক্সিল অ্যামিনের সঙ্গে ফর্ম্যালডোক্সিম, (ii) হাইড্রাজিনের সঙ্গে ফর্ম্যালডিহাইড হাইড্রাজোন, (iii) ফিনাইল হাইড্রাজিনের সঙ্গে ফিনাইল হাইড্রাজোন, (iv) সেমিকার্বাজাইডের সঙ্গে সেমিকার্বাজোন যৌগ উৎপন্ন করে।

$$H{-}\underset{\displaystyle H}{\underset{|}{C}}{=}\boxed{O + H_2}\,N{-}OH \longrightarrow \underset{\text{ফর্ম্যালডোক্সিম}}{H_2C{=}N{-}OH} + H_2O$$

$$H{-}\underset{\displaystyle H}{\underset{|}{C}}{=}\boxed{O + H_2}\,N{-}NH_2 \longrightarrow \underset{\text{হাইড্রাজোন}}{H_2C{=}N{-}NH_2} + H_2O$$

$$H{-}\underset{\displaystyle H}{\underset{|}{C}}{=}O + H_2N{-}NHC_6H_5 \longrightarrow \underset{\text{ফিনাইল হাইড্রাজোন}}{H_2C{=}N{-}NHC_6H_5} + H_2O$$

$$H{-}\underset{\displaystyle H}{\underset{|}{C}}{=}O + H_2N{-}NHCONH_2 \longrightarrow \underset{\text{সেমিকার্বাজোন}}{H_2C{=}N{-}NHCONH_2} + H_2O$$

(11) বহুযৌগিকতা (Polymerisation) **ঃ ফর্ম্যালডিহাইডের জলীয় দ্রবণকে বাষ্পীভূত করলে কঠিন প্যারা-ফর্ম্যালডিহাইড বা প্যারাফর্ম গঠিত হয়।**

n-এর মান 6 থেকে 50 হতে পারে। প্যারা-ফর্ম্যালডিহাইডকে পলি মিথান্যালও বলা হয়।

$$nHCHO \xrightarrow{+H_2O} \underset{\text{প্যারাফর্ম্যালডিহাইড}}{(HCHO)_n, H_2O}$$

গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের সংস্পর্শে কঠিন **মেটাফর্ম্যালডিহাইড** বা **ট্রাই-অক্সান** গঠিত হয় এবং চুনের জলের সংস্পর্শে **ফরমোজ** $[(CH_2O)_6]$ উৎপন্ন করে।

● ফর্ম্যালডিহাইডের ব্যবহার ঃ

(1) ফর্ম্যালডিহাইড খুব শক্তিশালী জীবাণুনাশক। সংক্রামক রোগীর ব্যবহৃত ঘর জীবাণুমুক্ত করতে ব্যবহৃত হয়।

(2) পচন-নিবারক হিসাবে ব্যবহৃত হয়। মৃত জীবজন্তু সংরক্ষণে ফর্ম্যালিন ব্যবহৃত হয়।

(3) এর অন্যতম প্রধান ব্যবহার **ব্যাকেলাইট** (Bakelite), **গালালিথ** (Gallalith) প্রভৃতি প্রস্তুতিতে।

[**ফর্ম্যালডিহাইডকে কস্টিক সোডা বা অ্যামোনিয়াম হাইড্রক্সাইডের উপস্থিতিতে ফেনল অর্থাৎ কার্বলিক অ্যাসিডের সঙ্গে উত্তপ্ত করলে যে কঠিন পদার্থ পাওয়া যায় তাকে ব্যাকেলাইট বলে।** তড়িৎ-কুপরিবাহী হওয়ায় অন্তরক (Insulator) হিসাবে বৈদ্যুতিক সরঞ্জাম তৈরির কাজে ব্যাকেলাইট ব্যবহৃত হয়। এর সংকেত সঠিক বলা যায় না, তবে ফর্ম্যালডিহাইড ও ফেনলের কনডেনসেশনের ফলে এই কঠিন পদার্থটি উৎপন্ন হয়। ব্যাকেলাইট কঠিন পদার্থ, উত্তাপে নরম হয়, তখন ছাঁচে ফেলে নানা আকৃতির সরঞ্জাম প্রস্তুত করা হয়ে থাকে।]

● ফর্ম্যালডিহাইডের শনাক্তকরণ ঃ

(i) তীব্র ঝাঁঝালো গন্ধ দ্বারা ফর্ম্যালডিহাইডকে শনাক্ত করা যায়। **(ii)** 1% ফর্ম্যালডিহাইডের জলীয় দ্রবণের 2 cc-এর সঙ্গে 2 ফোঁটা ফিনাইল হাইড্রাজিন যোগ করে 5% পটাশিয়াম ফেরোসায়ানাইড দ্রবণের 1 cc মিশিয়ে ওই মিশ্রণে গাঢ় HCl যোগ করলে গোলাপি বর্ণে পরিণত হয়। এই পরীক্ষা **স্ক্রুবারের পরীক্ষা** (Schruver's test) নামে পরিচিত। **(iii)** গাঢ় H_2SO_4-এর সঙ্গে $FeCl_2$ দ্রবণ যোগ করে ওই দ্রবণে ফর্ম্যালডিহাইড যোগ করলে দ্রবণের বর্ণ বেগুনি হয়ে যায়।

5.5. অ্যাসিট্যালডিহাইড [Acetaldehyde বা Ethanal, $CH_3—CHO$]

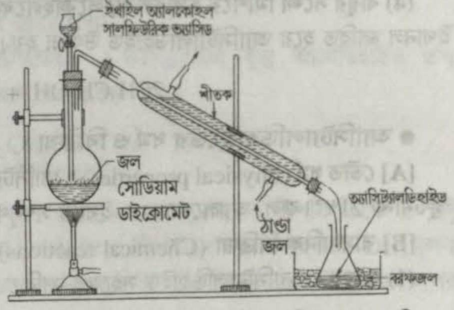
● **অ্যাসিট্যালডিহাইড প্রস্তুতি** (Preparation of Acetaldehyde) :

1. পরীক্ষাগার প্রস্তুতি (Laboratory method of preparation) :

[A] নীতি (Principle) : **ইথাইল অ্যালকোহলকে $Na_2Cr_2O_7$ এবং গাঢ় H_2SO_4 দ্বারা জারিত করলে অ্যাসিট্যালডিহাইড উৎপন্ন হয়।**

$$CH_3CH_2OH \xrightarrow[Na_2Cr_2O_7/H_2SO_4]{[O]} CH_3CHO + H_2O$$

[B] পদ্ধতি (Method) : **(i)** বিন্দুপাতী ফানেল ও লিবিগ শীতক সংযুক্ত একটি ফ্লাস্কের মধ্যে নাতিগাঢ় (1 : 3) H_2SO_4 অ্যাসিড নেওয়া হয়। **বিন্দুপাতী ফানেলে ইথাইল অ্যালকোহল এবং সোডিয়াম ডাইক্রোমেটের জলীয় দ্রবণের মিশ্রণ নেওয়া হয়।** শীতকের সঙ্গে একটি অ্যাডাপটার সংযুক্ত থাকে, অ্যাডাপটারটির সঙ্গে গ্রাহক যুক্ত থাকে। গ্রাহকটি বরফজলে বসান থাকে। **(ii)** ফ্লাস্কটিকে বালিগাহে উত্তপ্ত করা হয়। সালফিউরিক অ্যাসিড দ্রবণ উত্তপ্ত হয়ে ফুটতে থাকলে বিন্দুপাতী ফানেল থেকে ফোঁটা ফোঁটা করে ইথানল এবং সোডিয়াম ডাইক্রোমেটের জলীয় দ্রবণের মিশ্রণ যোগ করা হয়। অ্যালকোহল জারিত হয়ে অ্যাসিট্যালডিহাইডে পরিণত হয়। উৎপন্ন অ্যাসিট্যালডিহাইড তাপে বাষ্পীভূত হয়ে লিবিগ শীতকের মধ্যে প্রবেশ করে। **(iii)** শীতকের মধ্য দিয়ে ঠান্ডা জল চালনা করা হয়। শীতকের মধ্য দিয়ে যাওয়ার সময় অ্যাসিট্যালডিহাইড বাষ্প শীতল ও ঘনীভূত হয়ে তরলরূপে গ্রাহকে সঞ্চিত হয়।



চিত্র 5.2 : অ্যাসিট্যালডিহাইডের পরীক্ষাগার প্রস্তুতি

(C) বিশুদ্ধিকরণ (Purification) : এইভাবে উৎপন্ন অ্যাসিট্যালডিহাইড যথেষ্ট বিশুদ্ধ হয় না, এর সঙ্গে **অল্প ইথাইল অ্যালকোহল, অ্যাসেটিক অ্যাসিড ও জল থাকে।** **(i)** এর সঙ্গে **অনার্দ্র সোডিয়াম সালফেট মিশিয়ে জল ও ইথাইল অ্যালকোহল দূর করা হয়।** **(ii)** পরে আবার পাতিত করে অ্যাসিট্যালডিহাইড বাষ্পকে হিম মিশ্রণে ঠান্ডা করা ইথারে দ্রবীভূত করা হয়। **(iii)** দ্রবণে শুষ্ক অ্যামোনিয়া গ্যাস চালনা করলে কঠিন অ্যাসিট্যালডিহাইড-অ্যামোনিয়া কেলাসিত হয়। **(iv)** কেলাসকে পৃথক করে লঘু সালফিউরিক অ্যাসিডের সঙ্গে মিশিয়ে পাতিত করলে বিশুদ্ধ অ্যাসিট্যালডিহাইড পাওয়া যায়।

$$CH_3—\underset{H}{\underset{|}{C}}{=}O + NH_3 \rightarrow CH_3—\underset{H}{\underset{|}{\overset{NH_2}{\overset{|}{C}}}}—OH \xrightarrow{H_2SO_4} CH_3—\underset{H}{\underset{|}{C}}{=}O + NH_4HSO_4$$

2. ক্যালশিয়াম অ্যাসিটেট ও ক্যালশিয়াম ফর্মেটের মিশ্রণ শুষ্ক পাতন করলে অ্যাসিট্যালডিহাইড পাতিত হয়।

$$(CH_3COO)_2Ca + (HCOO)_2Ca \longrightarrow 2CH_3CHO + 2CaCO_3$$

● **শিল্প উৎপাদন** (Industrial or large scale production) :

(1) অ্যাসিটিলিন থেকে : অ্যাসিটিলিন গ্যাসকে 80°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত 20% লঘু সালফিউরিক অ্যাসিডে দ্রবীভূত মারকিউরিক সালফেট দ্রবণের মধ্য দিয়ে চালনা করলে **অ্যাসিট্যালডিহাইড** উৎপন্ন হয়।

$$H—C{\equiv}C—H \xrightarrow[80^\circ C]{20\%\ H_2SO_4,\ HgSO_4} CH_3CHO$$

(2) ইথিলিন থেকে—ওয়াকার পদ্ধতি : প্যালাডিয়াম ক্লোরাইড এবং **কিউপ্রিক ক্লোরাইডের অ্যাসিডযুক্ত জলীয় দ্রবণে ইথিলিন চালনা করলে, ইথিলিন জারিত হয়ে অ্যাসিট্যালডিহাইডে পরিণত হয়।**

$$H_2C{=}CH_2 + PdCl_2 + H_2O \xrightarrow[H^+]{CuCl_2} CH_3CHO + Pd + 2HCl$$

এই বিক্রিয়ায় অনুঘটকীয় পরিমাণে (Catalytic amount) $PdCl_2$ এবং $CuCl_2$ লবণের প্রয়োজন হয়। কারণ উৎপন্ন Pd, Cu^{2+} দ্বারা জারিত হয়ে আবার Pd^{2+}-এ পরিণত হয়। $Pd + CuCl_2 \longrightarrow PdCl_2 + 2CuCl$

আবার Cu^+, বায়ুর উপস্থিতিতে জারিত হয়ে Cu^{2+}-এ পরিণত হয়।

$$2CuCl + 2HCl + \frac{1}{2}O_2 \longrightarrow 2CuCl_2 + H_2O$$

যেহেতু এই পদ্ধতি বিকারকের পরিমাণ খুবই কম লাগে এবং ইথিলিন স্বল্প দামে পাওয়া, সেজন্য এই পদ্ধতি বর্তমানে বেশি ব্যবহৃত হয়।

(3) 300°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত কপার অনুঘটকের উপর দিয়ে ইথাইল অ্যালকোহল বাষ্প চালনা করলে ইথানলের ডিহাইড্রোজেনেশনের ফলে অ্যাসিট্যালডিহাইড উৎপন্ন হয়।

$$CH_3CH_2OH \xrightarrow[300°C]{Cu} CH_3CHO + H_2$$

(4) বায়ুর সঙ্গে মিশিয়ে ইথাইল অ্যালকোহলকে 250°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত সিলভার অনুঘটকের উপর দিয়ে চালনা করলে ইথানল জারিত হয়ে **অ্যাসিট্যালডিহাইড** উৎপন্ন হয়।

$$2CH_3CH_2OH + O_2 \xrightarrow[250°C]{Ag} 2CH_3CHO + 2H_2O$$

● অ্যাসিট্যালডিহাইডের ধর্ম ও বিক্রিয়া ঃ

[A] ভৌত ধর্ম (Physical properties) ঃ অ্যাসিট্যালডিহাইড ঝাঁঝালো, শ্বাসরোধকারী গন্ধযুক্ত, বর্ণহীন উদ্‌বায়ী তরল পদার্থ, স্ফুটনাঙ্ক 21°C। জল, অ্যালকোহল ও ইথারে সম্পূর্ণ দ্রবণীয়।

[B] রাসায়নিক বিক্রিয়া (Chemical reactions) ঃ

(1) জারণ ঃ অ্যাসিট্যালডিহাইড সহজেই জারিত হয়ে সম-সংখ্যক কার্বন পরমাণুযুক্ত অ্যাসিটিক অ্যাসিডে পরিণত হয়।

$$CH_3CHO \xrightarrow{[O]} CH_3COOH$$

জারণ ক্রিয়া লঘু HNO_3, $K_2Cr_2O_7$ এবং গাঢ় H_2SO_4 বা আম্লিক $KMnO_4$ দ্বারা সম্পন্ন হয়।

(2) বিজারণ ধর্ম ঃ অ্যাসিট্যালডিহাইড শক্তিশালী বিজারক।

(i) অ্যামোনিয়াযুক্ত $AgNO_3$ বা **টোলেন্স বিকারক** অ্যাসিট্যালডিহাইড দ্বারা বিজারিত হয়ে ধাতব সিলভারের অধঃক্ষেপ উৎপন্ন করে।

$$CH_3CHO + Ag_2O \longrightarrow CH_3COOH + 2Ag\downarrow$$
$$CH_3COOH + NH_4OH \longrightarrow CH_3COONH_4 + H_2O$$

(ii) উত্তপ্ত অবস্থায় ফেলিং দ্রবণকে বিজারিত করে Cu_2O-এর লাল অধঃক্ষেপ উৎপন্ন করে।

$$CH_3CHO + 2CuO \longrightarrow CH_3COOH + Cu_2O\downarrow$$
$$CH_3COOH + NaOH \longrightarrow CH_3COONa + H_2O$$

(iii) অ্যাসিট্যালটিহাইড সিফ বিকারকের ম্যাজেন্টা রঙ ফিরিয়ে আনে।

(3) বিজারণ ঃ অ্যাসিট্যালডিহাইড বিজারিত হয়ে ইথানল বা ইথেনে পরিণত হতে পারে।

(i) লিথিয়াম অ্যালুমিনিয়াম হাইড্রাইড, সোডিয়াম বোরোহাইড্রাইড, সোডিয়াম অ্যামালগাম-জল প্রভৃতি বিকারক দ্বারা অ্যাসিট্যালডিহাইড বিজারিত হয়ে সম-সংখ্যক কার্বন পরমাণুযুক্ত প্রাইমারি অ্যালকোহল ইথানলে পরিণত হয়।

$$CH_3CHO \xrightarrow{[H]} CH_3CH_2OH$$

(ii) জিঙ্ক অ্যামালগাম ও গাঢ় HCl দ্বারা উত্তপ্ত করলে (ক্লিমেনসন বিজারণ) অ্যাসিট্যালডিহাইড বিজারিত হয়ে ইথেনে পরিণত হয়।

$$CH_3CHO \xrightarrow{Zn/Hg/\text{গাঢ় } HCl} CH_3CH_3$$

(4) হ্যালোফর্ম বিক্রিয়া ঃ অ্যাসিট্যালডিহাইড **হ্যালোফর্ম বিক্রিয়া করে অর্থাৎ হ্যালোজেন ও কস্টিক সোডা দ্রবণের সঙ্গে বিক্রিয়ায় ক্লোরোফর্ম, ব্রোমোফর্ম ও আয়োডোফর্ম** উৎপন্ন করে।

$$CH_3—CHO + 3X_2 \longrightarrow \underset{\text{ট্রাই হ্যালো অ্যাসিট্যালডিহাইড}}{CX_3CHO} + 3HX$$

$$CX_3CHO + NaOH \longrightarrow \underset{\text{হ্যালোফর্ম}}{CHX_3} + HCOONa \ [X{=}Cl, Br \text{ বা } I]$$

পটাশিয়াম আয়োডাইড দ্রবণ এবং **সামান্য সোডিয়াম হাইপো ক্লোরাইট দ্রবণ** অথবা **আয়োডিন ও কস্টিক সোডা দ্রবণ**

সহ অ্যাসিট্যালডিহাইডকে উত্তপ্ত করে ঠান্ডা করলে হালকা **হলুদ বর্ণের আয়োডোফর্মের** কেলাস দ্রবণ থেকে পৃথক হয়। এর একটি বিশেষ গন্ধ আছে।

$$CH_3CHO \xrightarrow{3I_2} Cl_3CHO$$
$$Cl_3CHO \xrightarrow{NaOH} CHI_3 + HCOONa$$

অ্যালডিহাইড যৌগের মধ্যে একমাত্র অ্যাসিট্যালডিহাইডই আয়োডোফর্ম উৎপন্ন করতে পারে। অন্য অ্যালডিহাইড থেকে অ্যাসিট্যালডিহাইডের পার্থক্য আয়োডোফর্ম বিক্রিয়া দ্বারা ধরা যায়।

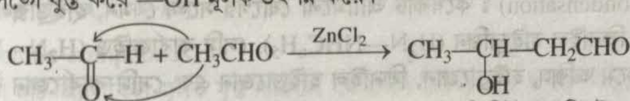
(5) PCl_5-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় অ্যাসিট্যালডিহাইড **ডাইক্লোরো-ইথেনে** পরিণত হয়।

$$CH_3CHO + PCl_5 \longrightarrow \underset{\text{ডাই-ক্লোরো ইথেন}}{CH_3CHCl_2} + POCl_3$$

(6) টিসেঙ্কো বিক্রিয়া ঃ অ্যালুমিনিয়াম ইথোক্সাইডের উপস্থিতিতে α-হাইড্রোজেন যুক্ত অ্যালডিহাইড তথা অ্যাসিট্যালডিহাইড বিক্রিয়া করে **এস্টার** উৎপন্ন করে। এই বিক্রিয়াকে টিসেঙ্কো বিক্রিয়া বলে।

$$2CH_3CHO \xrightarrow{Al(OC_2H_5)_3} \underset{\text{ইথাইল অ্যাসিটেট}}{CH_3COOC_2H_5}$$

(7) অ্যালডল কনডেনসেশন ঃ সাধারণ উষ্ণতায় সামান্য উষ্ণ ক্ষার বা $ZnCl_2$ অনুঘটকের উপস্থিতিতে 2 অণু অ্যাসিট্যালডিহাইড পরস্পর যুক্ত হয়ে অ্যালডল নামে বর্ণহীন গন্ধহীন তরল উৎপন্ন করে। এই যৌগে অ্যালকোহল (—OH) মূলক এবং অ্যালডিহাইড মূলক (—CHO) থাকায় এর নাম অ্যালডল। বিক্রিয়ায় একটি অ্যাসিট্যালডিহাইডের α-হাইড্রোজেন অপর অ্যালডিহাইডের O-এর সঙ্গে যুক্ত করে —OH মূলক উৎপন্ন করে।



β-হাইড্রক্সি বিউটার‍্যালডিহাইড বা 3-হাইড্রক্সি বিউটান্যাল

β-হাইড্রক্সি বিউটার‍্যালডিহাইডকে উত্তপ্ত করলে এক অণু জল মুক্ত হয়ে **অসম্পৃক্ত অ্যালডিহাইড-ক্রোটোন্যালডিহাইড** উৎপন্ন করে।

$$CH_3-\underset{OH}{CH}-\underset{H}{CH}-CHO \xrightarrow[-H_2O]{\Delta} \underset{\text{ক্রোটোন্যালডিহাইড}}{CH_3-CH{=}CH-CHO}$$

(8) যুত বিক্রিয়া ঃ (i) অ্যাসিট্যালডিহাইড, হাইড্রোজেন সায়ানাইডের **($NaCN + H_2SO_4$)** সঙ্গে যুত যৌগ **অ্যাসিট্যালডিহাইড সায়ানোহাইড্রিন** উৎপন্ন করে।

$$CH_3-\underset{H}{C}{=}O + HCN \longrightarrow CH_3-\overset{CN}{\underset{H}{C}}-OH$$

অ্যাসিট্যালডিহাইড সায়ানোহাইড্রিন

সায়ানোহাইড্রিনকে আর্দ্র বিশ্লেষিত করলে **α-হাইড্রক্সি অ্যাসিড** অর্থাৎ **ল্যাকটিক অ্যাসিড** উৎপন্ন হয়।

$$CH_3CH(OH)CN \xrightarrow[H^+]{H_2O} \underset{\text{ল্যাকটিক অ্যাসিড}}{CH_3CH(OH)COOH}$$

(ii) সোডিয়াম বাইসালফেটের শীতল এবং সম্পৃক্ত জলীয় দ্রবণ সহ ঝাঁকালে অ্যাসিট্যালডিহাইড যুত যৌগ **অ্যাসিট্যালডিহাইড বাইসালফাইট** উৎপন্ন করে।

$$CH_3-\underset{H}{C}{=}O + NaHSO_3 \longrightarrow CH_3-\overset{SO_3Na}{\underset{H}{C}}-OH$$

বাই সালফাইট যৌগ

(iii) অ্যাসিট্যালডিহাইডের শুষ্ক ইথারীয় দ্রবণে অ্যামোনিয়া গ্যাস চালনা করলে যুতযৌগ অ্যাসিট্যালডিহাইড অ্যামোনিয়া উৎপন্ন হয়।

$$CH_3-\underset{H}{C}=O + NH_3 \longrightarrow CH_3-\overset{NH_2}{\underset{H}{C}}-OH$$

অ্যাসিট্যালডিহাইড অ্যামোনিয়া

(iv) গ্রিগনার্ড বিকারকের সঙ্গে অ্যাসিট্যালডিহাইড একটি যুত যৌগ উৎপন্ন করে যার আর্দ্র বিশ্লেষণে **সেকেন্ডারি অ্যালকোহল** উৎপন্ন হয়।

$$CH_3-\underset{H}{C}=O + \underset{\text{গ্রিগনার্ড বিকারক}}{CH_3MgI} \longrightarrow CH_3-\overset{CH_3}{\underset{H}{C}}-OMgI \xrightarrow{H_2O} \underset{\text{2-প্রোপানল}}{CH_3-\overset{CH_3}{\underset{H}{C}}-OH} + Mg(OH)I$$

(9) অ্যালকোহলের সঙ্গে অ্যাসিট্যাল গঠন ঃ শুষ্ক HCl-এর উপস্থিতিতে, অ্যাসিট্যালডিহাইডের সঙ্গে অ্যালকোহলের বিক্রিয়ায়, প্রথমে **হেমি অ্যাসিট্যাল** এবং পরে আরও বিক্রিয়া করে **অ্যাসিট্যাল যৌগ বা 1, 1-ডাইইথক্সি ইথেন** উৎপন্ন করে।

$$\underset{\text{ইথান্যাল}}{CH_3-\underset{H}{C}=O} + C_2H_5OH \xrightarrow{\text{শুষ্ক HCl}} \underset{\text{হেমি অ্যাসিট্যাল}}{CH_3-\overset{OH}{\underset{H}{C}}-OC_2H_5} \xrightarrow{C_2H_5OH} \underset{\text{অ্যাসিট্যাল বা 1, 1-ডাই ইথক্সি ইথেন}}{CH_3-\overset{OC_2H_5}{\underset{H}{C}}-OC_2H_5}$$

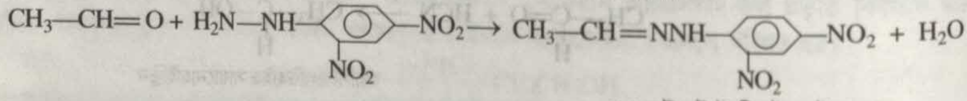
(10) কনডেনসেশন (Condensation) **ঃ কয়েকটি অ্যামিনো যৌগের সঙ্গে** যেমন, **হাইড্রক্সিল অ্যামিন** (H_2N-OH), **হাইড্রাজিন** (H_2N-NH_2), **ফিনাইল হাইড্রাজিন** ($H_2N-NHC_6H_5$), **সেমি কার্বাজাইড** ($H_2N-NHCONH_2$)-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় জলমুক্ত হয়ে যথাক্রমে **অক্সিম, হাইড্রাজোন, ফিনাইল হাইড্রাজোন** এবং **সেমি কার্বাজোন** উৎপন্ন করে।

(i) $CH_3-CH=\boxed{O + H_2}\ \underset{\text{হাইড্রক্সিল অ্যামিন}}{N.OH} \longrightarrow \underset{\text{অক্সিম}}{CH_3-CH=N-OH} + H_2O$

(ii) $CH_3-CH=\boxed{O + H_2}\ \underset{\text{হাইড্রাজিন}}{N.NH_2} \longrightarrow \underset{\text{হাইড্রাজোন}}{CH_3-CH=N-NH_2} + H_2O$

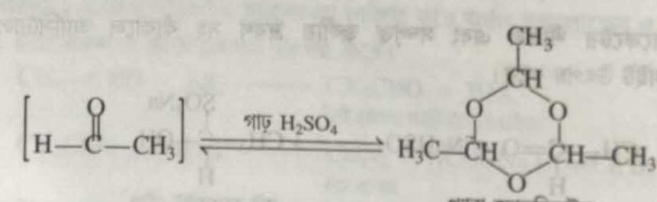
(iii) $CH_3-CH=\boxed{O + H_2}\ \underset{\text{ফিনাইল হাইড্রাজিন}}{N-NHC_6H_5} \longrightarrow \underset{\text{ফিনাইল হাইড্রাজিন}}{CH_3-CH=N-NHC_6H_5} + H_2O$

(iv) $CH_3-CH=O + \underset{\text{সেমি কার্বাজাইড}}{H_2N-NHCONH_2} \longrightarrow \underset{\text{সেমি কার্বাজোন}}{CH_3-CH=N-NHCONH_2} + H_2O$

(v) 

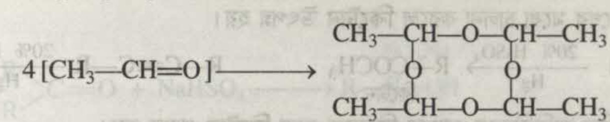
2,4-ডাই নাইট্রো ফিনাইল হাইড্রাজোন

(11) পলিমারিজেশন ঃ কয়েক ফোঁটা গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের উপস্থিতিতে অ্যাসিট্যালডিহাইড **প্যারা-অ্যালডিহাইডে** পরিণত হয়। সংকেত ঃ $(CH_3CHO)_3$



প্যারা-অ্যালডিহাইড

0°C-এর কম তাপমাত্রা, $CaCl_2$, H_2SO_4 বা HCl-এর **সংস্পর্শে মেটা অ্যালডিহাইড** গঠিত হয়।



উভয় পলিমারকে গাঢ় H_2SO_4 দ্বারা উত্তপ্ত করলে আবার অ্যাসিট্যালডিহাইড পাওয়া যায়।

● **অ্যাসিট্যালডিহাইডের ব্যবহার ঃ (i)** বিভিন্ন জৈব যৌগ যেমন অ্যাসিটিক অ্যাসিড, অ্যাসিটিক অ্যানহাইড্রাইড, *n*-বিউটানল, ক্লোরাল প্রভৃতি প্রস্তুত করতে প্রচুর পরিণামে অ্যাসিট্যালডিহাইড ব্যবহৃত হয়। **(ii)** অ্যাসিট্যালডিহাইডের পলিমার প্যারা-অ্যালডিহাইড (ঘুমের ওষুধ) এবং মেটা-অ্যালডিহাইড (জ্বালানি) তৈরি করতে ব্যবহৃত হয়।

● **অ্যাসিট্যালডিহাইডের শনাক্তকরণ ঃ (i)** ক্ষারীয় ফেলিং দ্রবণে অ্যাসিট্যালডিহাইড যোগ করে উত্তপ্ত করলে লাল বর্ণের কিউপ্রাস অক্সাইড অধঃক্ষিপ্ত হয়।

(ii) NH_4OH যুক্ত $AgNO_3$ দ্রবণ বা টলেন্স বিকারক অ্যাসিট্যালডিহাইডে যোগ করে উত্তপ্ত করলে ধাতব সিলভার অধঃক্ষিপ্ত হয়; ধাতব Ag কাচ পাত্রের গায়ে জমা হয়ে আয়নার মতো চকচক করে।

(iii) সিফ্ বিকারকের ম্যাজেন্টা রঙ ফিরিয়ে আনে।

(iv) 2,4-ডাই নাইট্রো ফিনাইল হাইড্রাজিনের সঙ্গে বিক্রিয়া করে 2,4-ডাই নাইট্রো ফিনাইল হাইড্রাজোনের রঙিন কেলাস গঠন করে।

5.6. কিটোন [Ketone, R—CO—R]

● **কিটোন যৌগ** (Ketone compounds) ঃ

কার্বনিল গ্রুপের সঙ্গে দুটি অ্যালকিল মূলক যুক্ত থাকলে যে যৌগ উৎপন্ন হয়, তাকে কিটোন যৌগ বলে। কিটোনের কার্যকরী গ্রুপ $\left[\rangle C{=}O\right]$।

কিটোন শ্রেণির যৌগের সাধারণ সংকেত $\begin{matrix}R\\R'\end{matrix}\rangle C{=}O$ (R বা R′ যে-কোনো অ্যালকিল মূলক)

R ও R′ একই মূলক হলে **সরল কিটোন** হয়, ভিন্ন হলে তাকে **মিশ্র কিটোন** বলা হয়।

● **কিটোন প্রস্তুতির সাধারণ প্রণালী** (General methods of preparation of Ketones) ঃ

(1) সেকেন্ডারি অ্যালকোহলের জারণ দ্বারা (By oxidation of secondary alcohols) ঃ

(i) সেকেন্ডারি অ্যালকোহলকে জারিত করে কিটোন প্রস্তুত করা হয়। জারণ-ক্রিয়া পটাশিয়াম ডাই-ক্রোমেট ও সালফিউরিক অ্যাসিড বা অন্য জারক পদার্থের দ্বারা সম্পন্ন করা হয়।

$$R{-}CH(OH)R' \xrightarrow{K_2Cr_2O_7/H_2SO_4} RCOR' + H_2O$$

(ii) সেকেন্ডারি অ্যালকোহল বাষ্পকে 300°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত **কপার, সিলভার** প্রভৃতি অনুঘটকের উপর দিয়ে চালনা করলে সেকেন্ডারি অ্যালকোহলের ডিহাইড্রোজেনেশনের ফলে কিটোন প্রস্তুত হয়।

$$R{-}CH(OH)R' \xrightarrow[300^\circ C]{Ag} R{-}COR' + H_2\uparrow$$

(2) ফর্মিক অ্যাসিড ছাড়া যে-কোনো ফ্যাটি অ্যাসিডের ক্যালশিয়াম লবণকে শুষ্ক পাতন করলে কিটোন উৎপন্ন হয়।

$$(RCOO)_2Ca \xrightarrow{\text{শুষ্ক পাতন}} RCOR$$

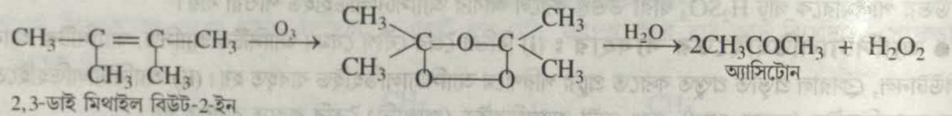
(3) ফর্মিক অ্যাসিড ছাড়া যে-কোনো ফ্যাটি অ্যাসিডের বাষ্পকে 300°C—350°C তাপমাত্রায় রাখা **ম্যাঙ্গানাস অক্সাইড** (MnO) বা **থোরিয়াম অক্সাইড** (ThO_2) অনুঘটকের উপর দিয়ে চালনা করলে **কিটোন** প্রস্তুত হয়।

$$2RCOOH \xrightarrow[300^\circ C]{MnO} RCOR + CO_2 + H_2O$$

(4) অ্যাসিটিলিন শ্রেণির যৌগ থেকে ঃ অ্যাসিটিলিন ছাড়া অন্য অ্যালকাইন যৌগকে **মারকিউরিক সালফেটযুক্ত উত্তপ্ত লঘু সালফিউরিক অ্যাসিড** দ্রবণের মধ্যে চালনা করলে **কিটোন** উৎপন্ন হয়।

$$\underset{\text{অ্যালকাইন}}{R-C\equiv CH} \xrightarrow[Hg^{++}]{20\%\ H_2SO_4} \underset{\text{কিটোন}}{R-COCH_3} \qquad R-C\equiv C-R \xrightarrow[Hg^{++}]{20\%\ H_2SO_4} RCH_2COR$$

(5) $R_2C{=}CR_2$ শ্রেণির অলিফিনের ওজোন বিশ্লেষণ দ্বারা **কিটোন প্রস্তুত হয়।**



(6) ওপেনায়ার জারণ পদ্ধতি দ্বারা (Oppenaur oxidation)—**সেকেন্ডারি অ্যালকোহল থেকে কিটোন প্রস্তুতি ঃ সেকেন্ডারি অ্যালকোহল এবং অতিরিক্ত অ্যাসিটোনের মিশ্রণে অ্যালুমিনিয়াম টারসিয়ারি বিউটক্সাইড** মিশিয়ে—এই দ্রবণের মিশ্রণকে রিফ্লাক্স করলে, সেকেন্ডারি অ্যালকোহলটি জারিত হয়ে কিটোনে পরিণত হয় এবং অ্যাসিটোন বিজারিত হয়ে আইসোপ্রোপাইল অ্যালকোহলে পরিণত হয়।

$$\underset{2^{\circ}\ \text{অ্যালকোহল}}{R-CH(R'')-OH} + \underset{\text{অ্যাসিটোন}}{CH_3-C(CH_3)=O} \xrightarrow[\Delta]{[(CH_3)_3CO]_3\ Al} \underset{\text{কিটোন}}{R-C(R')=O} + \underset{\text{2-প্রোপানল}}{CH_3CH(OH)CH_3}$$

(7) গ্রিগনার্ড বিকারকের সাহায্যে ঃ (i) অ্যালকিল সায়ানাইডের সঙ্গে গ্রিগনার্ড বিকারকের বিক্রিয়ায় কিটোন উৎপন্ন হয়।

$$R-C\equiv N + RMg\text{-}Cl \xrightarrow{\text{ইথার}} R-C(R){=}NMgCl \xrightarrow[HCl]{H_2O} R-C(R){=}O + NH_3 + MgCl_2$$

(ii) অ্যাসিড ক্লোরাইড এবং গ্রিগনার্ড বিকারকের বিপরীত সংযোজনে **কিটোন উৎপন্ন হয়।**

$$R-C(=O)-Cl + RMgCl \longrightarrow R-C(OMgCl)(R)-Cl \xrightarrow{H_3O^+} RCOR + MgCl_2$$

(8) অ্যাসিটো অ্যাসিটিক এস্টারের আর্দ্র বিশ্লেষণ দ্বারা ঃ লঘু KOH দ্রবণের সাহায্যে অ্যাসিটো অ্যাসিটিক এস্টারের আর্দ্র বিশ্লেষণে কিটোন উৎপন্ন হয়।

$$CH_3-C(=O)-CH(R)-CO\,OC_2H_5 \xrightarrow[\Delta]{2KOH} CH_3-C(=O)-CH_2R + K_2CO_3 + C_2H_5OH$$

(9) ওয়াকার পদ্ধতিতে উপযুক্ত অ্যালকিনকে অ্যাসিডযুক্ত $PdCl_2$ এবং কিউপ্রিক ক্লোরাইড মিশ্রণ সহ পাতিত করলে এক ধাপে **অ্যালকিন থেকে কিটোন** পাওয়া যায়।

$$\underset{\text{প্রোপিন}}{CH_3CH{=}CH_2} + PdCl_2 + H_2O \xrightarrow[\Delta]{CuCl_2} CH_3COCH_3 + Pd + 2HCl$$

● কিটোনের সাধারণ ধর্ম ও বিক্রিয়া (General properties and reactions of Ketone) ঃ

[A] ভৌত ধর্ম ঃ কিটোন যৌগগুলি বিশিষ্ট গন্ধযুক্ত, প্রশম, বর্ণহীন, উদ্‌বায়ী তরল পদার্থ। উচ্চ আণবিক ওজনের কিটোনগুলি কঠিন পদার্থ। কিটোন জল ও অ্যালকোহলে দ্রাব্য। আণবিক ওজন বাড়ার সঙ্গে কিটোনগুলির দ্রাব্যতা কমতে থাকে।

[B] রাসায়নিক বিক্রিয়া ঃ অ্যালডিহাইড এবং কিটোন জাতীয় যৌগের মধ্যে $C{=}O$ মূলক বর্তমান, ফলে অ্যালডিহাইডের সঙ্গে কিটোনের ধর্মের অনেক সাদৃশ্য আছে।

(a) অ্যালডিহাইডের সদৃশ বিক্রিয়া (Reactions similar to Aldehyde) **ঃ**

(1) যুত যৌগ গঠন ঃ (i) হাইড্রোসায়ানিক অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়ায় যুত যৌগ **সায়ানোহাইড্রিন** উৎপন্ন হয়।

$$R_2C{=}O + HCN \longrightarrow \underset{\text{সায়ানোহাইড্রিন}}{R-C(CN)(R)-OH}$$

(ii) কিটোনের সঙ্গে $NaHSO_3$-এর বিক্রিয়ায় কিটোন-সোডিয়াম বাইসালফাইট উৎপন্ন হয়। উর্ধ্বতন কিটোন বাইসালফাইট যুত যৌগ উৎপন্ন করে না।

$$\begin{matrix}R\\R\end{matrix}\!\!>C{=}O + NaHSO_4 \longrightarrow R{-}\overset{SO_3Na}{\underset{R}{C}}{-}OH$$

কিটোন সোডিয়াম বাইসালফাইট

(2) হাইড্রক্সিল অ্যামিন, হাইড্রাজিন, ফিনাইল হাইড্রাজিন, সেমি কার্বাজাইড প্রভৃতি যৌগের সঙ্গে বিক্রিয়ায় যথাক্রমে **অক্সিম, হাইড্রাজোন, ফিনাইল হাইড্রাজোন, সেমি-কার্বাজোন** যৌগ গঠন করে। প্রত্যেক বিক্রিয়ায় জল নির্গত হয়।

(i) হাইড্রক্সিল অ্যামিনের সঙ্গে :

$$R{-}\underset{R}{C}{=}\boxed{O + H_2}NOH \longrightarrow R{-}\underset{R}{C}{=}NOH + H_2O$$

কিটোন কিটোক্সিম

(ii) হাইড্রাজিনের সঙ্গে :

$$R{-}\underset{R}{C}{=}O + H_2N{-}NH_2 \longrightarrow R{-}\underset{R}{C}{=}N{-}NH_2 + H_2O$$

কিটোন হাইড্রাজিন হাইড্রাজোন

(iii) ফিনাইল হাইড্রাজিনের সঙ্গে :

$$R{-}\underset{R}{C}{=}O + H_2N{-}NHC_6H_5 \longrightarrow R{-}\underset{R}{C}{=}N{-}NHC_6H_5 + H_2O$$

কিটোন ফিনাইল হাইড্রাজিন ফিনাইল হাইড্রাজোন

(iv) সেমি কার্বাজাইডের সঙ্গে :

$$R{-}\underset{R}{C}{=}\boxed{O + H_2}N{-}NHCONH_2 \longrightarrow R{-}\underset{R}{C}{=}N{-}NHCONH_2 + H_2O$$

সেমি কার্বাজাইড সেমি কার্বাজোন

(v) 2, 4-ডাই নাইট্রোফিনাইল হাইড্রাজিনের (ব্রাডির বিকারকের) সঙ্গে :

$$CH_3{-}\underset{CH_3}{C}{=}\boxed{O + H_2}N{-}NH{-}C_6H_3(NO_2){-}NO_2 \longrightarrow CH_3{-}\underset{CH_3}{C}{=}N{-}NH{-}C_6H_3(NO_2){-}NO_2 + H_2O$$

2, 4-ডাইনাইট্রো ফিনাইলহাইড্রাজোন

(3) ক্লিমেনসন বিজারণ : কিটোনকে Zn এবং গাঢ় HCl দ্বারা বিজারিত করলে অ্যালকেন উৎপন্ন হয়। এই বিক্রিয়ায় কিটোনের কার্বনিল মূলক $[>C{=}O]$ বিজারিত হয়ে মিথিলিন মূলকে $[-CH_2-]$ পরিণত হয়। ফলে **কিটোন অ্যালকেনে পরিণত হয়।**

$$R{-}CO{-}R \xrightarrow[\text{গাঢ় HCl}]{Zn/Hg} R{-}CH_2{-}R$$

অ্যালকেন

(4) কনডেনসেশন বিক্রিয়া—অ্যালডল কনডেনসেশন : অ্যালডিহাইডের মতো কিটোনও অ্যালডল বিক্রিয়া করে। যেমন, অ্যাসিটোনকে (~0ºC) বেরিয়াম হাইড্রক্সাইডের সংস্পর্শে রাখলে দুই অণু অ্যাসিটোন পরস্পর যুক্ত হয়ে **ডাই-অ্যাসিটোন অ্যালকোহল** প্রস্তুত হয়। এই বিক্রিয়ায় দুই অণু অ্যাসিটোন অংশ নেয়। একটি অণুর α-হাইড্রোজেন, অপর অণুর O পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত হয়ে —OH মূলক গঠন করে, ফলে দুটি অণু পরস্পর যুক্ত হয়ে **ডাই-অ্যাসিটোন অ্যালকোহল** উৎপন্ন করে।

$$CH_3{-}\overset{O}{\underset{CH_3}{C}} + CH_3COCH_3 \xrightarrow{Ba(OH)_2} CH_3{-}\overset{OH}{\underset{CH_3}{C}}{-}CH_2COCH_3$$

ডাই অ্যাসিটোন অ্যালকোহল বা
4-হাইড্রক্সি-4-মিথাইল পেন্টান-2-ওন

(5) ক্লোরিনেশন (Chlorination) **: (i)** PCl_5-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় জেম ডাইক্লোরো অ্যালকেন উৎপন্ন হয়।

$$R_2C{=}O + PCl_5 \longrightarrow R_2CCl_2 + POCl_3$$

(6) হ্যালোফর্ম বিক্রিয়া : যে কিটোনে, কিটো-মিথাইল গ্রুপ বর্তমান থাকে সেই কিটোন—যেমন, অ্যাসিটোন, NaOH বা KOH-এর উপস্থিতিতে Cl_2, Br_2 বা I_2-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে যথাক্রমে ক্লোরোফর্ম, ব্রোমোফর্ম এবং আয়োডোফর্ম উৎপন্ন করে। [অ্যাসিটোনের সঙ্গে I_2 এবং অ্যামোনিয়াম হাইড্রক্সাইডের বিক্রিয়ায় আয়োডোফর্ম উৎপন্ন হয় (ইথানল বা অ্যাসিট্যালডিহাইডের থেকে পার্থক্য)]।

$$CH_3COCH_3 \xrightarrow{3Cl_2} CCl_3COCH_3 + 3HCl$$

$$CCl_3COCH_3 \xrightarrow[NaOH]{3Cl_2} \underset{\text{ক্লোরোফর্ম}}{CHCl_3} + CH_3COONa$$

[b] অ্যালডিহাইডের সাদৃশ্যহীন বিক্রিয়া (Reactions not similar to Aldehydes) **:**

(7) জারণ : কিটোন সহজে জারিত হয় না। $K_2Cr_2O_7$ + গাঢ় H_2SO_4, গাঢ় HNO_3 প্রভৃতি তীব্র জারক পদার্থ দ্বারা **কিটোনকে জারিত করা হয়।** জারণের ফলে যে অ্যাসিড উৎপন্ন হয়, তাতে কিটোনের চেয়ে কার্বন পরমাণুর সংখ্যা কম থাকে। অ্যালডিহাইড এবং কিটোনের মধ্যে এই বিক্রিয়াটির দ্বারা পার্থক্য বোঝা যায়।

$$\underset{\text{অ্যাসিটোন}}{CH_3COCH_3} \xrightarrow{[O]} \underset{\text{অ্যাসেটিক অ্যাসিড}}{CH_3COOH} + CO_2 + H_2O$$

পারঅ্যাসিডের উপস্থিতিতে কিটোন জারিত হয়ে এস্টার উৎপন্ন করে। এই জারণকে **বায়ার ভিলিজার জারণ** (Baeyer Villiger oxidation) বলে।

$$\underset{\text{কিটোন}}{RCOR} \xrightarrow{C_6H_5COOOH} \underset{\text{এস্টার}}{RCOOR} + C_6H_5COOH$$

কিটো মিথিলিন গ্রুপ যুক্ত $\left(-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-CH_2-\right)$ কিটোন SeO_2 দ্বারা জারিত হয়ে **ডাই কিটোন** উৎপন্ন করে।

$$CH_3-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-CH_2CH_3 \xrightarrow[H_2O]{SeO_2/} CH_3-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-CH_3$$

2, 3-বিউটেন ডাই ওন্

(8) বিজারণ (Reduction) **:** কিটোন, সোডিয়াম অ্যালকোহল বা $LiAlH_4$ দ্বারা বিজারিত হয়ে **সেকেন্ডারি বা 2° অ্যালকোহল** উৎপন্ন করে—**অ্যালডিহাইডের মতো প্রাইমারি বা 1° অ্যালকোহল** উৎপন্ন হয় না।

$$\underset{\text{কিটোন}}{R-\underset{\underset{R'}{|}}{C}=O} \xrightarrow{[H]} \underset{\text{সেকেন্ডারি অ্যালকোহল}}{R-\underset{\underset{R'}{|}}{C}HOH}$$

5.7. অ্যাসিটোন বা ডাই-মিথাইল কিটোন [Acetone, $CH_3-CO-CH_3$]

● **অ্যাসিটোনের প্রস্তুতি** (Preparation of Acetone) **:**

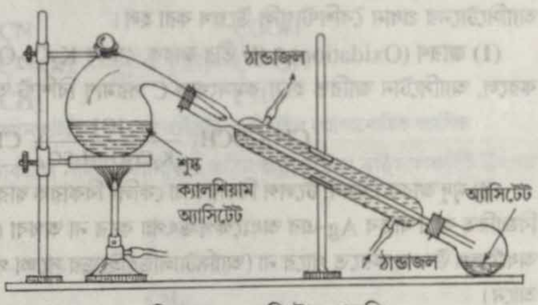
(1) পরীক্ষাগার প্রণালী (Laboratory method) **:**

(A) নীতি (Principle) **: অনার্দ্র ক্যালশিয়াম, অ্যাসিটেটের শুষ্ক পাতন করে অ্যাসিটোন** তৈরি করা হয়।

$$\underset{\text{ক্যালশিয়াম অ্যাসিটেট}}{(CH_3COO)_2Ca} \xrightarrow{\text{শুষ্ক পাতন}} \underset{\text{অ্যাসিটোন}}{CH_3COCH_3} + CaCO_3$$

(B) প্রস্তুতি (Preparation) **:** শীতক সংযুক্ত একটি বক্‌যন্ত্রের মধ্যে শুষ্ক ক্যালশিয়াম অ্যাসিটেট চূর্ণ নেওয়া হয়। শীতকটির অপর

প্রান্তে একটি গ্রাহক পাত্র যুক্ত থাকে। বকযন্ত্রটিকে স্ট্যান্ডের সঙ্গে আটকে ত্রিপদ স্ট্যান্ডে রাখা তারজালির উপর বসিয়ে বার্নার দিয়ে প্রথমে ধীরে ধীরে উত্তপ্ত করা হয় এবং পরে তীব্রভাবে উত্তপ্ত করা হয়। বিক্রিয়ার ফলে ক্যালশিয়াম অ্যাসিটেটের বিয়োজন ঘটে অ্যাসিটোন উৎপন্ন হয় যা বাষ্পরূপে বেরিয়ে এসে শীতকের মধ্য দিয়ে যাওয়ার সময় শীতল ও ঘনীভূত হয়ে গ্রাহকে তরলরূপে জমা হয়।



চিত্র 5.3 : অ্যাসিটোন প্রস্তুতি

(C) বিশুদ্ধিকরণ (Purification) : উৎপন্ন অ্যাসিটোন বিশুদ্ধ নয়। **সোডিয়াম বাই সালফাইটের সম্পৃক্ত দ্রবণ** মেশালে কঠিন বাই সালফাইট যৌগ কেলাসাকারে অধঃক্ষিপ্ত হয়। একে পৃথক করে শুষ্ক করে সম্পৃক্ত সোডিয়াম কার্বনেট দ্রবণের সঙ্গে মিশিয়ে পাতন করলে অ্যাসিটোন পাতিত হয়। 55°C—60°C-এর মধ্যে প্রাপ্ত পাতিত দ্রব্যকে **অনার্দ্র ক্যালশিয়াম ক্লোরাইডের** দ্বারা জলশূন্য করে পুনঃপাতিত করলে বিশুদ্ধ অ্যাসিটোন পাওয়া যায়।

(2) আইসোপ্রোপাইল অ্যালকোহলকে পটাশিয়াম ডাইক্রোমেট ও গাঢ় H_2SO_4 দ্বারা জারিত করলে অ্যাসিটোন উৎপন্ন হয়।

$$CH_3—CH(OH)—CH_3 \xrightarrow[K_2Cr_2O_7/H_2SO_4]{[O]} CH_3COCH_3 + H_2O$$

(3) প্রোপাইনের সঙ্গে $HgSO_4$-এর উপস্থিতিতে 20% H_2SO_4-এর জলীয় দ্রবণের বিক্রিয়ায় অ্যাসিটোন উৎপন্ন হয়।

$$\underset{\text{প্রোপাইন}}{CH_3—C{\equiv}CH} \xrightarrow[80°C]{HgSO_4/20\%\ H_2SO_4} \underset{\text{অস্থায়ী}}{[CH_3—\underset{OH}{\underset{|}{C}}{=}CH_2]} \rightarrow \underset{\text{অ্যাসিটোন}}{CH_3COCH_3}$$

● **শিল্প উৎপাদন :**

(1) আইসোপ্রোপাইল অ্যালকোহল বাষ্পকে 300°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত কপার চূর্ণের উপর দিয়ে চালনা করলে আইসোপ্রোপাইল অ্যালকোহলের ডিহাইড্রোজিনেশন দ্বারা অ্যাসিটোন উৎপন্ন হয়।

$$CH_3—CH(OH)—CH_3 \xrightarrow[300°C]{Cu\ \text{অনুঘটক}} \underset{\text{অ্যাসিটোন}}{CH_3COCH_3} + H_2$$

পেট্রোলিয়াম ক্র্যাকিং দ্বারা উৎপন্ন প্রোপিনে জল সংযোজন করে আইসোপ্রোপাইল অ্যালকোহল উৎপন্ন হয়, যার জারণে অ্যাসিটোন পাওয়া যায়।

$$\text{পেট্রোলিয়াম} \xrightarrow{\text{ক্র্যাকিং}} \underset{\text{প্রোপিন}}{CH_3—CH{=}CH_2} \xrightarrow{H_2O} \underset{\text{আইসোপ্রোপাইল অ্যালকোহল}}{CH_3—CH(OH)—CH_3} \xrightarrow{[O]} \underset{\text{অ্যাসিটোন}}{CH_3COCH_3}$$

(2) ওয়াকার পদ্ধতি দ্বারা প্রোপিন থেকে : প্রোপিনের সঙ্গে প্যালাডিয়াম ক্লোরাইড ও কিউপ্রিক ক্লোরাইডের অ্যাসিড যুক্ত জলীয় দ্রবণের বিক্রিয়ায় অ্যাসিটোন উৎপন্ন হয়।

$$\underset{\text{প্রোপিন}}{CH_3—CH{=}CH_2} + PdCl_2 + H_2O \xrightarrow{CuCl_2} CH_3COCH_3 + Pd + 2HCl$$

(3) কিউমিন পদ্ধতিতে (Cumene process) **ফেনল উৎপাদনের সময় পার্শ্ব বিক্রিয়াজাত হিসাবে অ্যাসিটোন** উৎপন্ন হয়।

$$\underset{\text{কিউমিন}}{C_6H_5—CH{<}^{CH_3}_{CH_3}} + O_2 \longrightarrow \underset{\text{হাইড্রোপারক্সাইড}}{C_6H_5—\underset{OOH}{\underset{|}{C}}{<}^{CH_3}_{CH_3}} \xrightarrow{H^+/H_2O} \underset{\text{ফেনল}}{C_6H_5OH} + \underset{\text{অ্যাসিটোন}}{CH_3COCH_3}$$

● **অ্যাসিটোনের ধর্ম ও বিক্রিয়া :**

(A) ভৌত ধর্ম (Physical Properties) : **(i)** অ্যাসিটোন মিষ্টগন্ধযুক্ত বর্ণহীন উদ্‌বায়ী তরল পদার্থ, **(ii)** স্ফুটনাঙ্ক 56·5°C এবং **(iii)** দাহ্য পদার্থ, সহজেই আগুন লাগে, **(iv)** জল, অ্যালকোহল, ইথারে সম্পূর্ণ দ্রাব্য, জলের চেয়ে হালকা।

(B) রাসায়নিক বিক্রিয়া (Chemical reactions) ঃ অ্যাসিটোনের রাসায়নিক ধর্ম কিটোনের রাসায়নিক ধর্মের মতোই। নীচে অ্যাসিটোনের প্রধান বৈশিষ্ট্যগুলি উল্লেখ করা হল।

(1) জারণ (Oxidation) ঃ (i) তীব্র জারক, যেমন $K_2Cr_2O_7$ এবং গাঢ় H_2SO_4 দ্বারা অ্যাসিটোনকে অনেকক্ষণ ধরে উত্তপ্ত করলে, অ্যাসিটোন জারিত হয়ে কমসংখ্যক C পরমাণু বিশিষ্ট অ্যাসিটিক অ্যাসিডে পরিণত হয় এবং CO_2 নির্গত হয়।

$$CH_3COCH_3 \xrightarrow[K_2Cr_2O_7/H_2SO_4]{[O]} CH_3COOH + CO_2 + H_2O$$

(ii) মৃদু জারক যেমন, টলেন্স বিকারক বা ফেলিং বিকারক দ্বারা অ্যাসিটোন জারিত হয় না। তাই অ্যাসিটোন টলেন্স বিকারককে বিজারিত করে ধাতব Ag-এর অধঃক্ষেপ উৎপন্ন করে না অথবা ফেলিং দ্রবণকে বিজারিত করে লাল বর্ণের কিউপ্রাস অক্সাইডের অধঃক্ষেপ উৎপন্ন করতে পারে না (অ্যাসিট্যালডিহাইডের সঙ্গে পার্থক্য)। অ্যাসিটোন খুব ধীরে ধীরে সিফ্ বিকারকের বর্ণ ফিরিয়ে আনে।

(iii) অ্যাসিটোনের সঙ্গে সেলেনিয়াম ডাইঅক্সাইডের বিক্রিয়ায় $—CH_2—$ গ্রুপ জারিত হয়ে $—CO—$-তে পরিণত হয়, ফলে **অ্যাসিটোন থেকে মিথাইল গ্লাইঅক্সাল** উৎপন্ন হয়।

$$CH_3COCH_3 \xrightarrow{SeO_2/H_2O} CH_3COCHO + Se + H_2O$$

(2) বিজারণ ঃ (i) অ্যালকোহলে বিজারণ ঃ সোডিয়াম অ্যামালগাম-জল অথবা নিকেল চূর্ণ অনুঘটকের উপস্থিতিতে H_2 গ্যাস বা ইথার মাধ্যমে লিথিয়াম অ্যালুমিনিয়াম হাইড্রাইড অথবা জলীয় মাধ্যমে $NaBH_4$ দ্বারা অ্যাসিটোনকে বিজারিত করলে **আইসোপ্রোপাইল অ্যালকোহল** পাওয়া যায়।

$$CH_3COCH_3 \xrightarrow[H_2O]{Na/Hg} \underset{\text{আইসোপ্রোপাইল অ্যালকোহল}}{CH_3CH(OH)CH_3}$$

(ii) হাইড্রোকার্বনে বিজারণ ঃ

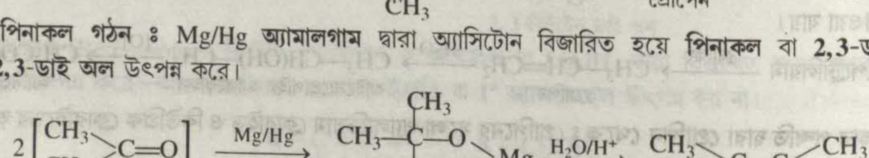
(*a*) **ক্লিমেনসন বিজারণ ঃ Zn-অ্যামালগাম ও গাঢ় HCl** অ্যাসিটোনকে বিজারিত করে **প্রোপেনে** পরিণত করে।

$$CH_3COCH_3 \xrightarrow[\text{গাঢ় HCl}]{Zn/Hg} \underset{\text{প্রোপেন}}{CH_3CH_2CH_3}$$

(*b*) **উলফ্-কিশনার বিজারণ ঃ** অ্যাসিটোন, **হাইড্রাজিন ও ক্ষার দ্বারা** বিজারিত হয়ে **প্রোপেনে** পরিণত হয়।

$$CH_3COCH_3 \xrightarrow[\text{তাপ}]{NH_2NH_2} CH_3-\underset{CH_3}{\underset{|}{C}}=N-NH_2 \xrightarrow[180^oC]{KOH} \underset{\text{প্রোপেন}}{CH_3CH_2CH_3}$$

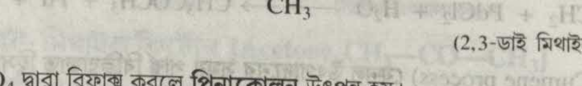
(iii) পিনাকল গঠন ঃ Mg/Hg **অ্যামালগাম** দ্বারা অ্যাসিটোন বিজারিত হয়ে **পিনাকল** বা **2,3-ডাই মিথাইল বিউটেন-2,3-ডাই অল** উৎপন্ন করে।



অ্যাসিটোন → পিনাকল

(2,3-ডাই মিথাইল বিউটেন-2,3-ডাই অল)

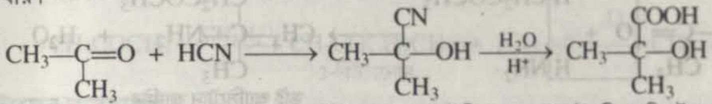
পিনাকলকে লঘু H_2SO_4 দ্বারা রিফ্লাক্স করলে **পিনাকোলন** উৎপন্ন হয়।



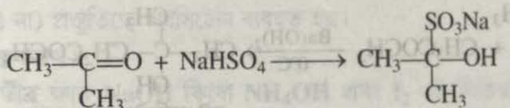
পিনাকল → পিনাকোলন বা 3,3-ডাই মিথাইল-2-বিউটানোন

(3) যুত বিক্রিয়া ঃ কার্বনিল মূলক থাকায় অ্যাসিটোন HCN, $NaHSO_3$ এবং গ্রিগনার্ড বিকারকের সঙ্গে যুত বিক্রিয়া করে যুতযৌগ উৎপন্ন করে।

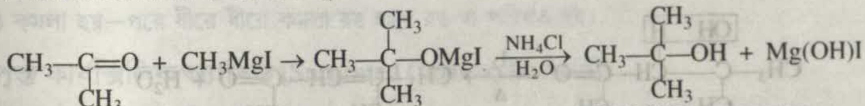
(i) HCN-এর সঙ্গে ঃ অ্যাসিটোন সায়ানোহাইড্রিন উৎপন্ন করে যার আর্দ্র বিশ্লেষণে 2-হাইড্রক্সি 2-মিথাইল প্রোপানোয়িক অ্যাসিড পাওয়া যায়।



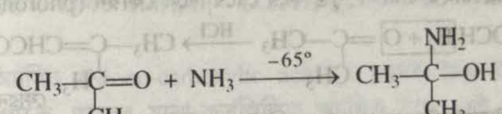
(ii) সোডিয়াম বাই সালফাইটের সম্পৃক্ত জলীয় দ্রবণ সহ ঝাঁকালে সাদা কেলাসাকার কঠিন **অ্যাসিটোন বাইসালফাইট** উৎপন্ন হয়।



(iii) গ্রিগনার্ড বিকারকের সঙ্গে অ্যাসিটোন যুত যৌগ গঠন করে যা আর্দ্র-বিশ্লেষিত হয়ে **টার্সিয়ারি অ্যালকোহল** উৎপন্ন করে।

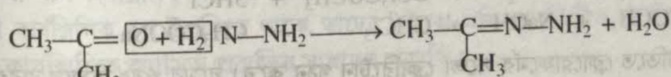


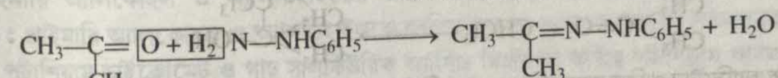
(iv) −65°C তাপমাত্রায় **অ্যামোনিয়ার** সঙ্গে অ্যাসিটোনের বিক্রিয়ায় অত্যন্ত দুঃস্থিত যৌগ **অ্যাসিটোন অ্যামোনিয়া** উৎপন্ন হয়।

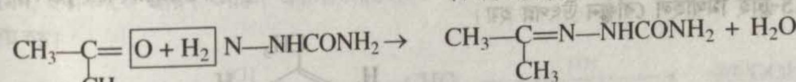


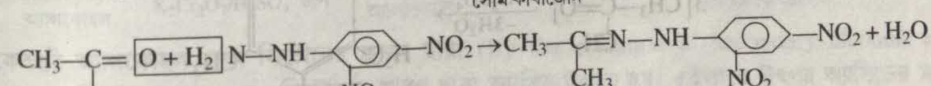
(4) কনডেনসেশন বিক্রিয়া ঃ অ্যামিনো যৌগের সঙ্গে যেমন হাইড্রক্সিল অ্যামিন, হাইড্রাজিন, ফিনাইল হাইড্রাজিন, সেমিকার্বাজাইড, 2,4-ডাই-নাইট্রো ফিনাইল হাইড্রাজিনের সঙ্গে বিক্রিয়ায় জলমুক্ত হয়ে যথাক্রমে **অক্সিম, হাইড্রাজোন, ফিনাইল হাইড্রাজোন, সেমি কার্বাজোন** এবং **2,4-ডাই-নাইট্রো ফিনাইল হাইড্রাজোন** উৎপন্ন করে।

(i)

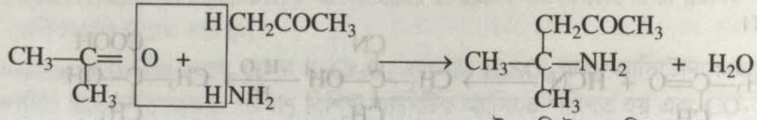

(ii)


(iii)


(iv)


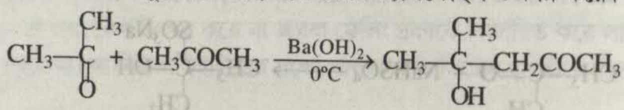
(v)


(vi) অ্যাসিটোনের সঙ্গে সাধারণ উষ্ণতায় **অ্যামোনিয়ার বিক্রিয়ায় ডাই অ্যাসিটোন অ্যামিন** উৎপন্ন হয়।



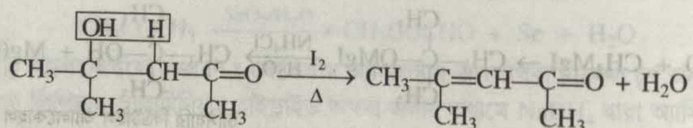
ডাই অ্যাসিটোন অ্যামিন

(5) অ্যালডল কনডেনসেশন ঃ (i) অ্যাসিটোন সহজে পলিমার গঠন করে না কিন্তু **ব্যারাইটার** $Ba(OH)_2$-এর উপস্থিতিতে 0ºC উষ্ণতায় 2 অণু অ্যাসিটোন পরস্পর যুক্ত হয়ে **ডাই-অ্যাসিটোন অ্যালকোহল** উৎপন্ন করে।



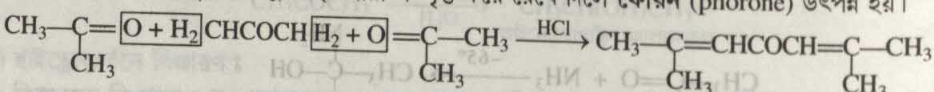
ডাই অ্যাসিটোন অ্যালকোহল

(ii) ডাই অ্যাসিটোন অ্যালকোহলকে স্বল্প পরিমাণ **আয়োডিন** সহ উত্তপ্ত করলে **মেসিটাইল অক্সাইড** নামে একরকম তরল উৎপন্ন হয়।



মেসিটাইল অক্সাইড বা 4-মিথাইল-পেন্ট-3-ইন-2-ওন্

(iii) অ্যাসিটোনকে **হাইড্রোজেন ক্লোরাইড** দ্বারা সম্পৃক্ত করে রেখে দিলে **ফোরন** (phorone) উৎপন্ন হয়।



ফোরন

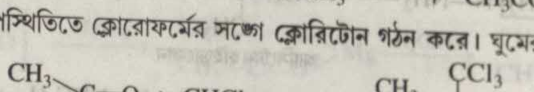
(6) ক্লোরিনেশন ঃ ফসফরাস পেন্টাক্লোরাইডের সঙ্গে অ্যাসিটোনের বিক্রিয়ায় O পরমাণু Cl পরমাণুর দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে **2, 2-ডাইক্লোরো প্রোপেন** উৎপন্ন করে। এই বিক্রিয়ায় HCl উৎপন্ন হয় না।

$$CH_3COCH_3 + PCl_5 \longrightarrow CH_3CCl_2CH_3 + POCl_3$$

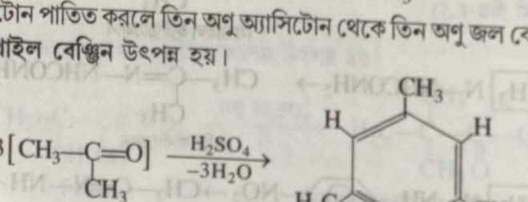
(7) অ্যাসিটোন হ্যালোফর্ম বিক্রিয়া করে; যেমন—আয়োডিন ও কস্টিক সোডা দ্রবণের সঙ্গে **আয়োডোফর্ম** উৎপন্ন করে এবং অ্যাসিটোনের ক্ষারীয় দ্রবণে Cl_2 চালনা করলে **ক্লোরোফর্ম** উৎপন্ন হয়।

$$CH_3COCH_3 \xrightarrow{3I_2} Cl_3COCH_3 + 3HI$$
$$Cl_3COCH_3 + NaOH \rightarrow CHI_3 + CH_3COONa$$
$$CH_3COCH_3 + 3Cl_2 \rightarrow CCl_3COCH_3 + 3HCl$$
$$CCl_3COCH_3 + NaOH \rightarrow CHCl_3 + CH_3COONa$$

(8) কঠিন KOH-এর উপস্থিতিতে ক্লোরোফর্মের সঙ্গে **ক্লোরিটোন গঠন করে।** ঘুমের ওষুধ হিসাবে ব্যবহৃত হয়।



(9) গাঢ় H_2SO_4 সহ অ্যাসিটোন পাতিত করলে তিন অণু অ্যাসিটোন থেকে তিন অণু জল বেরিয়ে গিয়ে বৃত্তাকার হাইড্রোকার্বন **মেসিটিলিন** বা **1, 3, 5-ট্রাই মিথাইল** বেঞ্জিন উৎপন্ন হয়।



মেসিটিলিন

(10) ডায়াজো মিথেনের সঙ্গে বিক্রিয়া করে 2-বিউটানোন অর্থাৎ উচ্চতর কিটোন উৎপন্ন করে—এতে সামান্য ইপোক্সাইডও উৎপন্ন হয়।

$$CH_3COCH_3 \xrightarrow{CH_2N_2} \underset{\text{2-বিউটানোন্}}{CH_3COCH_2CH_3} + (CH_3)_2C\overset{O}{\frown}CH_2$$

● অ্যাসিটোনের ব্যবহার ঃ

সেলুলয়েড, সেলুলোজ অ্যাসিটেট, কোলোডিয়ন, ধূমহীন পাউডার কর্ডাইট এবং অ্যাসিটিলিনের দ্রাবকরূপে, কৃত্রিম রেশম উৎপাদনে এবং ক্লোরিটোন, ক্লোরোফর্ম, আয়োডোফর্ম, সালফোনাল প্রভৃতি ওষুধ প্রস্তুতিতে অ্যাসিটোন ব্যবহৃত হয়। **প্লেক্সিগ্লাস** (Plexiglass) (যে কাচ ভাঙে না) প্রস্তুতিতে অ্যাসিটোন ব্যবহৃত হয়।

● অ্যাসিটোনের শনাক্তকরণ ঃ

(i) অ্যাসিটোনের সঙ্গে **তীব্র ক্ষার NaOH কিংবা NH_4OH এবং I_2**-এর বিক্রিয়ায় **হলুদ রঙ-এর তীব্র গন্ধ** বিশিষ্ট **আয়োডোফর্মের** কেলাস উৎপন্ন হয়।

(ii) অ্যাসিটোনের সঙ্গে **সদ্য প্রস্তুত সোডিয়াম নাইট্রোপ্রুসাইড** দ্রবণ যোগ করে কস্টিক সোডা দ্রবণ ফোঁটা ফোঁটা যোগ করলে দ্রবণের **রঙ কমলা হয়**—পরে ধীরে ধীরে কমলা রঙ হলুদ রঙ-এ পরিণত হয়।

5.8. সম্পৃক্ত কার্বক্সিলিক অ্যাসিড [Saturated Carboxylic Acid]

যে সব যৌগে কার্বক্সিল ($-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-OH$) গ্রুপ বর্তমান তাদের কার্বক্সিলিক অ্যাসিড বলে।

জৈব অ্যাসিডের অণুর মধ্যে উপস্থিত **কার্বক্সিল** [—COOH] গ্রুপের সংখ্যা অনুযায়ী এদের কয়েকটি শ্রেণিতে ভাগ করা হয়েছে।

(i) মনো-কার্বক্সিলিক অ্যাসিড (Mono-carboxylic acid) **ঃ যেসব জৈব অ্যাসিডের অণুর মধ্যে একটি মাত্র [—COOH] গ্রুপ বর্তমান থাকে, তাদের মনো-কার্বক্সিলিক অ্যাসিড বলে।** এই জাতীয় অ্যাসিডের সাধারণ সংকেত $C_nH_{2n+1}COOH$। এক্ষেত্রে $n = 0$ হলে অ্যাসিডটি ফর্মিক অ্যাসিড হয়। যেমন, ফর্মিক অ্যাসিড—HCOOH, অ্যাসিটিক অ্যাসিড—CH_3COOH।

(ii) ডাই-কার্বক্সিলিক অ্যাসিড (Di-carboxylic acid) **ঃ যেসব জৈব অ্যাসিডের অণুর মধ্যে দুটি কার্বক্সিলিক গ্রুপ বর্তমান থাকে, তাদের ডাই-কার্বক্সিলিক অ্যাসিড বলে।** যেমন—

$$\text{অক্সালিক অ্যাসিড}\quad \begin{array}{l} COOH \\ | \\ COOH \end{array}$$

(iii) ট্রাই বা পলি কার্বক্সিলিক অ্যাসিড (Tri or Poly carboxylic acid) **ঃ যেসব জৈব অ্যাসিডের অণুর মধ্যে তিনটি বা তার বেশি কার্বক্সিলিক গ্রুপ উপস্থিত থাকে, তাদের ট্রাই বা পলি কার্বক্সিলিক অ্যাসিড বলে।**

● মনো-কার্বক্সিলিক অ্যাসিড প্রস্তুতির সাধারণ পদ্ধতি ঃ

(1) প্রাইমারি অ্যালকোহল ও অ্যালডিহাইডের জারণ দ্বারা (By the oxidation of primary alcohol and aldehydes) **ঃ প্রাইমারি অ্যালকোহল ও অ্যালডিহাইডকে জারিত করলে সমসংখ্যক কার্বন পরমাণুযুক্ত অ্যাসিড উৎপন্ন হয়। জারণ-ক্রিয়া পটাশিয়াম ডাইক্রোমেট ও গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড মিশ্রণ বা ক্ষারীয় পটাশিয়াম পারম্যাঙ্গানেট দ্বারা সম্পন্ন করা হয়।** যেমন, ইথানলকে জারণ করলে অ্যাসিট্যালডিহাইড উৎপন্ন হয়। অ্যাসিট্যালডিহাইডকে জারণ করলে অ্যাসিটিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।

$$\underset{\text{অ্যালকোহল}}{RCH_2OH} \xrightarrow[K_2Cr_2O_7/H_2SO_4\ \text{তাপ}]{[O]} \underset{\text{অ্যালডিহাইড}}{R-CHO} \xrightarrow[K_2Cr_2O_7/H_2SO_4\ \text{তাপ}]{[O]} \underset{\text{কার্বক্সিলিক অ্যাসিড}}{RCOOH}$$

(2) সেকেন্ডারি অ্যালকোহল এবং কিটোনের জারণ দ্বারা (By the oxidation of secondary alcohols and ketones) **ঃ সেকেন্ডারি অ্যালকোহল এবং কিটোনের জারণ দ্বারা অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।** এইভাবে উৎপন্ন অ্যাসিডের মধ্যে কার্বন পরমাণুর সংখ্যা মূল অ্যালকোহল বা কিটোনের মধ্যস্থ কার্বন পরমাণুর সংখ্যার চেয়ে কম হয়।

যেমন, আইসোপ্রোপাইল অ্যালকোহলকে জারণ করলে প্রথমে অ্যাসিটোন পাওয়া যায়। উৎপন্ন অ্যাসিটোন আরও জারিত হয়ে অ্যাসিটিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে।

$$CH_3—CH(OH)—CH_3 \xrightarrow[K_2Cr_2O_7/H_2SO_4]{[O]} CH_3COCH_3 \xrightarrow[K_2Cr_2O_7/H_2SO_4]{[O]} CH_3COOH + CO_2 + H_2O$$

(3) অ্যালকিল সায়ানাইডের আর্দ্র-বিশ্লেষণ দ্বারা ঃ অ্যালকিল সায়ানাইডের আর্দ্র-বিশ্লেষণ করলে অ্যাসিড উৎপন্ন হয়। লঘু অ্যাসিড দ্রবণ HCl, H_2SO_4 বা লঘু ক্ষার দ্রবণ NaOH বা KOH দ্বারা আর্দ্র-বিশ্লেষণ সম্পন্ন করা হয়।

অ্যালকিল হ্যালাইডকে প্রথমে **পটাশিয়াম সায়ানাইডের** সঙ্গে বিক্রিয়া করলে **অ্যালকিল সায়ানাইড** উৎপন্ন হয়।

$$\underset{\text{অ্যালকিল হ্যালাইড}}{R—X} + KCN \longrightarrow \underset{\text{অ্যালকিল সায়ানাইড}}{R—CN} + KX$$

$$R—CN + 2H_2O \xrightarrow{HCl} RCOOH + NH_4Cl$$

(4) গ্রিগনার্ড বিকারকের বিক্রিয়া দ্বারা (By the action of Grignard reagent) **ঃ** গ্রিগনার্ড বিকারককে শুষ্ক ইথারে দ্রবীভূত করে কার্বন ডাইঅক্সাইড গ্যাস চালনা করলে যে যুত যৌগ উৎপন্ন হয়, তার আর্দ্র-বিশ্লেষণে অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।

$$\underset{\text{গ্রিগনার্ড বিকারক}}{R—Mg—X} + CO_2 \xrightarrow{\text{ইথার}} R—C\begin{matrix}=O\\ \diagdown OMgX\end{matrix} \xrightarrow{H_2O/H^+} \underset{\text{কার্বক্সিলিক অ্যাসিড}}{R—C\begin{matrix}=O\\ \diagdown OH\end{matrix}} + Mg\begin{matrix}\diagup OH\\ \diagdown X\end{matrix}$$

(5) এস্টার থেকে (From Ester) **ঃ (i) অ্যাসিড বা ক্ষারীয় দ্রবণে এস্টার আর্দ্র-বিশ্লিষ্ট হয় এবং অ্যাসিড ও অ্যালকোহল উৎপন্ন হয়।**

$$RCOOR' + NaOH \longrightarrow RCOONa + R'OH$$

যেমন ঃ

$$\underset{\text{ইথাইল অ্যাসিটেট}}{CH_3COOC_2H_5} + NaOH \longrightarrow \underset{\text{সোডিয়াম অ্যাসিটেট}}{CH_3COONa} + \underset{\text{ইথাইল অ্যালকোহল}}{C_2H_5OH}$$

(ii) অ্যাসিড ক্লোরাইড, অ্যাসিড অ্যানহাইড্রাইড ও অ্যাসিড অ্যামাইড প্রভৃতি যৌগের আর্দ্র-বিশ্লেষণেও মনো-কার্বক্সিলিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।

$$\underset{\text{অ্যাসিড ক্লোরাইড}}{RCOCl} + H_2O \longrightarrow RCOOH + HCl$$

$$\underset{\text{অ্যাসিড অ্যানহাইড্রাইড}}{R—\overset{O}{\overset{\|}{C}}—O—\overset{O}{\overset{\|}{C}}—R} + H_2O \longrightarrow 2RCOOH$$

$$RCONH_2 + H_2O \xrightarrow{HCl} RCOOH + NH_4Cl$$

(6) কিটো মিথাইল ($CH_3—\overset{O}{\overset{\|}{C}}—$) গ্রুপ বা $CH_3—\underset{OH}{\underset{|}{C}H}—$ গ্রুপ যুক্ত যৌগের হ্যালোফর্ম বিক্রিয়া ঃ

যেসব কিটোনে কিটোমিথাইল গ্রুপ বর্তমান বা যেসব অ্যালকোহলে $CH_3—\underset{OH}{\underset{|}{C}H}—$ গ্রুপ বর্তমান তাদের হ্যালোফর্ম বিক্রিয়ার দ্বারা কার্বক্সিলিক অ্যাসিডের লবণ উৎপন্ন হয়। লবণকে অম্লায়িত করলে কার্বক্সিলিক উৎপন্ন হয়।

$$R—COCH_3 \xrightarrow{3X_2} RCOCX_3 \xrightarrow{NaOH} CHX_3\downarrow + RCOONa \xrightarrow{HCl} RCOOH + NaCl$$

$$R—\underset{OH}{\underset{|}{C}H}—CH_3 \xrightarrow[\text{বা } X_2/NaOH]{NaOX} [RCOCH_3] \longrightarrow CHX_3\downarrow + RCOONa \xrightarrow{HCl} RCOOH + NaCl$$

(7) যে সমস্ত **ডাই-কার্বক্সিলিক অ্যাসিডে** দুটি [—COOH] মূলক একই কার্বন পরমাণুতে যুক্ত থাকে, সেই অ্যাসিডগুলিকে উত্তপ্ত করলে বিয়োজিত হয় এবং **মনো-কার্বক্সিলিক অ্যাসিড** উৎপন্ন হয়।

$$\underset{\text{ম্যালনিক অ্যাসিড}}{CH_2\begin{matrix}\diagup COOH\\ \diagdown COOH\end{matrix}} \xrightarrow[150^\circ C—200^\circ C]{\text{তাপ প্রয়োগ}} CH_3COOH + CO_2$$

(8) সোডিয়াম অ্যালকোক্সাইড বা অ্যালকোহলেটকে কার্বন মনোক্সাইডের সঙ্গে উচ্চ চাপে 150°C—200°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করলে কার্বক্সিলিক অ্যাসিডের সোডিয়াম লবণ উৎপন্ন হয়।

$$\underset{\text{সোডিয়াম মিথোক্সাইড}}{CH_3ONa} + CO \xrightarrow{150°C—200°C} \underset{\text{সোডিয়াম অ্যাসিটেট}}{CH_3COONa}$$

লঘু সালফিউরিক অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়ায় সোডিয়াম অ্যাসিটেট থেকে বিশুদ্ধ অ্যাসিটিক অ্যাসিড পাওয়া যায়।

(9) অ্যালকিন থেকে অ্যাসিড ঃ অ্যালকিন, কার্বন মনোক্সাইড এবং স্টিমের মিশ্রণকে উচ্চচাপে 350°C—400°C উষ্ণতায় H_3PO_4-এর (অনুঘটক) উপর চালনা করলে কার্বক্সিলিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।

$$\underset{\text{প্রোপিন}}{CH_3CH{=}CH_2} + CO + H_2O \xrightarrow[\text{চাপ/400°C}]{H_3PO_4} \underset{\text{2-মিথাইল প্রোপানোয়িক অ্যাসিড}}{(CH_3)_2CHCOOH}$$

$$\underset{\text{ইথিলিন}}{CH_2{=}CH_2} + CO + H_2O \xrightarrow[\text{চাপ}]{H_3PO_4} \underset{\text{প্রোপানোয়িক অ্যাসিড}}{CH_3CH_2COOH}$$

● অ্যাসিডের সাধারণ ধর্ম ও বিক্রিয়া ঃ

(A) ভৌত ধর্ম (Physical properties) **ঃ (i)** ফর্মিক অ্যাসিড, অ্যাসিটিক অ্যাসিড এবং প্রোপানোয়িক অ্যাসিড ঝাঁঝালো গন্ধযুক্ত তরল পদার্থ। বেশি সংখ্যক কার্বন পরমাণুযুক্ত অ্যাসিডগুলি তেলের মতো পদার্থ ও দুর্গন্ধি যুক্ত হয়। কঠিন ফ্যাটি অ্যাসিডগুলির গন্ধ নেই। **(ii)** 1 থেকে 7 কার্বন পরমাণু বিশিষ্ট তরল ফ্যাটি অ্যাসিডগুলি **জলে দ্রাব্য,** কারণ এই অ্যাসিডগুলি জলের অণুর সঙ্গে H বন্ধন গঠন করে ফলে জলে দ্রবীভূত হয়ে যায়।

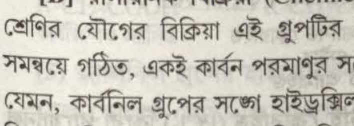
$$\cdots H{-}\underset{\underset{H}{|}}{O}\cdots H{-}O{-}\underset{\underset{R}{|}}{C}{=}O\cdots H{-}\underset{\underset{H}{|}}{O}\cdots H{-}O{-}\underset{\underset{R}{|}}{C}{=}O\cdots$$

যেহেতু অ্যালকিল গ্রুপের হাইড্রোকার্বন অংশটি ননপোলার এবং জলের প্রতি আসক্তি কম তাই অ্যাসিডের আণবিক গুরুত্ব বাড়ার সঙ্গে সঙ্গে ওর মধ্যে অ্যালকিল গ্রুপের আকার বাড়তে থাকে ফলে জলে দ্রাব্যতা দ্রুত হ্রাস পেতে থাকে।

(iii) স্ফুটনাঙ্ক ঃ অ্যালকেন, ইথার, কার্বনিল যৌগ, অ্যালকোহল এবং কার্বক্সিলিক অ্যাসিডের স্ফুটনাঙ্কের ক্রম হল—

অ্যালকেন < ইথার < কার্বনিল যৌগ < অ্যালকোহল < কার্বক্সিলিক অ্যাসিড

কার্বক্সিলিক অ্যাসিড পোলার এবং অন্তঃ আণবিক H-বন্ধন গঠন মাধ্যমে বৃত্তাকার ডাইমার অণু উৎপন্ন করে। এছাড়া অ্যাসিডের O—H গ্রুপের পোলারিটি অ্যালকোহলের O—H গ্রুপের পোলারিটির চেয়ে অনেক বেশি তাই অ্যাসিডের উৎপন্ন H-বন্ধনী বেশি শক্তিশালী। শক্তিশালী H-বন্ধন যুক্ত বৃত্তাকার ডাইমার ভেঙে মনোমার করতে প্রচুর শক্তির প্রয়োজন হয়, তাই কার্বক্সিলিক অ্যাসিডের স্ফুটনাঙ্ক বেশি হয়। অ্যাসিডের স্ফুটনাঙ্ক আণবিক ওজন বাড়ার সঙ্গে বৃদ্ধি পায়। ফর্মিক অ্যাসিড হল ব্যতিক্রম, কারণ বাষ্পীয় অবস্থাতেও ফর্মিক অ্যাসিড ডাইমার অণুরূপে অবস্থান করে এবং তরল ও কঠিন অবস্থায় পলিমাররূপে অবস্থান করে।

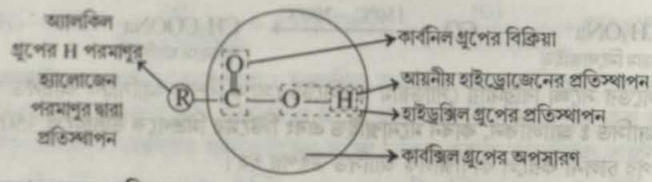


ফর্মিক অ্যাসিডের ডাইমার অণু

[B] রাসায়নিক বিক্রিয়া (Chemical Reactions) ঃ কার্বক্সিলিক অ্যাসিডের কার্যকরী গ্রুপ হল —COOH, তাই এই শ্রেণির যৌগের বিক্রিয়া এই গ্রুপটির উপর নির্ভর করে। যদিও কার্বক্সিলিক গ্রুপ [—C = O] এবং [—OH] গ্রুপের সমন্বয়ে গঠিত, একই কার্বন পরমাণুর সঙ্গে কার্বনিল ও হাইড্রক্সিল গ্রুপ দুটি যুক্ত থাকায় ওদের নিজ নিজ ধর্ম বজায় থাকে না। যেমন, কার্বনিল গ্রুপের সঙ্গে হাইড্রক্সিল অ্যামিনের বিক্রিয়ায় অক্সিম, হাইড্রাজিনের সঙ্গে বিক্রিয়ায় হাইড্রাজোন উৎপন্ন হয়। কিন্তু অ্যাসিডের >C =O গ্রুপটি অক্সিম, হাইড্রাজোন ইত্যাদি যৌগগুলি উৎপন্ন করে না। অ্যালকোহলের —OH গ্রুপের সঙ্গে HCl, HBr, HI-এর বিক্রিয়ায় অ্যালকিল হ্যালাইড উৎপন্ন হয়। কিন্তু অ্যাসিডের —OH গ্রুপ এই রকম বিক্রিয়া করে না। অ্যালকোহলের —OH গ্রুপের মধ্যস্থ H-এর চেয়ে, অ্যাসিডের কার্বক্সিলিক গ্রুপের মধ্যস্থ —OH গ্রুপের H অনেক বেশি অ্যাসিডধর্মী। তাই দেখা যায়, অ্যালকোহলের সঙ্গে $NaHCO_3$-এর বিক্রিয়ায় CO_2 মুক্ত হয় না, কিন্তু কার্বক্সিলিক অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় CO_2 মুক্ত হয়।

কার্বক্সিলিক অ্যাসিডের বিক্রিয়াগুলিকে মোটামুটি 5 ভাগে ভাগ করা যায়—যথা **(i) আয়নীয় হাইড্রোজেনের প্রতিস্থাপন,**

(ii) হাইড্রক্সিল গ্রুপের প্রতিস্থাপন, (iii) কার্বনিল গ্রুপের বিক্রিয়া, (iv) কার্বক্সিল গ্রুপের অপসারণ বা ডিকার্বক্সিলেশন এবং (v) অ্যালকিল গ্রুপের H পরমাণুর হ্যালোজেন পরমাণু দ্বারা প্রতিস্থাপন।



[1] আয়নীয় হাইড্রোজেনের প্রতিস্থাপন :

কার্বক্সিলিক অ্যাসিডের অ্যাসিড ধর্ম (Acid property of Carboxylic acid) : অ্যালিফ্যাটিক মনোকার্বক্সিলিক অ্যাসিডের অণুগুলি জলীয় দ্রবণে খুব কম মাত্রায় বিয়োজিত হয়ে $RCOO^-$ এবং H^+ আয়নে পরিণত হয়।

$$RCOOH \rightleftharpoons RCOO^- + H^+$$
$$RCOOH + H_2O \rightleftharpoons RCOO^- + H_3O^+$$

তাই এই জাতীয় অ্যাসিডগুলি হল মৃদু অ্যাসিড। এই জাতীয় অ্যাসিডগুলির আণবিক ভর বাড়ার সঙ্গে সঙ্গে জলীয় দ্রবণে অণুগুলির বিয়োজনের মাত্রা আরও কমে যায়। তাই দেখা যায়, এই জাতীয় অ্যাসিডগুলির মধ্যে সবচেয়ে কম আণবিক ভরের ফর্মিক অ্যাসিড হল তীব্রতম।

কার্বক্সিলিক অ্যাসিড খনিজ অ্যাসিড থেকে অনেক মৃদু হলেও অ্যাসিটিলিন, অ্যালকোহল যৌগ থেকে অনেক বেশি শক্তিশালী অ্যাসিড।

এই জাতীয় অ্যাসিডের জলীয় দ্রবণে H^+ আয়ন থাকার জন্য **(i) নীল লিটমাসকে লাল বর্ণে পরিণত করে। (ii) ক্ষার বা ক্ষারকের সঙ্গে বিক্রিয়ায় লবণ ও জল উৎপন্ন করে। (iii) কার্বনেট বা বাই-কার্বনেট লবণের সঙ্গে বিক্রিয়ায় CO_2 মুক্ত করে।** (vi) তড়িৎ রাসায়নিক শ্রেণিতে উপরের দিকে অবস্থিত ধাতুগুলি অর্থাৎ তীব্র ইলেকট্রো-পজিটিভ ধাতুগুলির (Na, K, Ca, Mg, Zn ইত্যাদি) সঙ্গে বিক্রিয়ায় অ্যাসিডের H পরমাণু প্রতিস্থাপিত হয়।

ক্ষারের সঙ্গে : $\underset{\text{অ্যাসেটিক অ্যাসিড}}{CH_3COOH} + NaOH \rightarrow \underset{\text{সোডিয়াম অ্যাসিটেট}}{CH_3COONa} + H_2O$

ক্ষারকের সঙ্গে : $2CH_3COOH + CaO \rightarrow \underset{\text{ক্যালশিয়াম অ্যাসিটেট}}{(CH_3COO)_2Ca} + H_2O$

বাই-কার্বনেটের সঙ্গে : $CH_3COOH + NaHCO_3 \rightarrow CH_3COONa + CO_2 + H_2O$

ধাতুর সঙ্গে : $2CH_3COOH + 2Na \rightarrow 2CH_3COONa + H_2\uparrow$

কার্বক্সিলিক অ্যাসিড ও জলীয় সোডিয়াম বাইকার্বনেটের বিক্রিয়ায় CO_2 গ্যাস নির্গত হয়। এই বিক্রিয়াটি কার্বক্সিলিক অ্যাসিডের শনাক্তকরণের জন্য ব্যবহৃত হয়।

[2] হাইড্রক্সিল গ্রুপের প্রতিস্থাপন : কার্বক্সিলিক অ্যাসিডের OH গ্রুপটি **ক্লোরিন (Cl), অ্যালকক্সি (OR)** এবং **অ্যামিনো** (NH_2) গ্রুপ দিয়ে প্রতিস্থাপনের ফলে যথাক্রমে অ্যাসিড ক্লোরাইড, এস্টার এবং অ্যামাইড যৌগ উৎপন্ন হয়।

$$R-\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}-OH \longrightarrow R-\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}-Z$$

Z = Cl হলে যৌগটি অ্যাসিড ক্লোরাইড
Z = OR হলে যৌগটি এস্টার
Z = NH_2 হলে যৌগটি অ্যামাইড

(a) অ্যাসিড ক্লোরাইড গঠন : ফসফরাস পেন্টাক্লোরাইড (PCl_5) বা ফসফরাস ট্রাই ক্লোরাইড (PCl_3) কিংবা **থায়োনিল ক্লোরাইডের ($SOCl_2$)** সঙ্গে কার্বক্সিলিক অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় অ্যাসিডের —OH গ্রুপটি Cl দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে অ্যাসিড ক্লোরাইড যৌগ উৎপন্ন করে।

$$\underset{\text{অ্যাসিড}}{RCOOH} + PCl_5 \rightarrow \underset{\text{অ্যাসিড ক্লোরাইড}}{RCOCl} + POCl_3 + HCl$$
$$3RCOOH + PCl_3 \rightarrow 3RCOCl + H_3PO_3$$
$$RCOOH + SOCl_2 \rightarrow RCOCl + SO_2 + HCl$$

(b) এস্টার যৌগ গঠন ঃ গাঢ় H_2SO_4-এর উপস্থিতিতে কার্বক্সিলিক অ্যাসিডের সঙ্গে অ্যালকোহলের বিক্রিয়ায় এস্টার যৌগ উৎপন্ন হয়। বিক্রিয়াটি উভমুখী তাই গাঢ় H_2SO_4 যোগ করে উৎপন্ন H_2O-কে শোষিত করে বিক্রিয়াটিকে একমুখী করা হয়।

$$\underset{\text{অ্যাসিড}}{RCOOH} + \underset{\text{অ্যালকোহল}}{ROH} \xrightarrow{H_2SO_4} \underset{\text{এস্টার}}{RCOOR} + H_2O$$

(c) অ্যাসিড অ্যামাইড গঠন ঃ কার্বক্সিলিক অ্যাসিডের সঙ্গে অ্যামোনিয়া বা অ্যামোনিয়াম হাইড্রক্সাইডের বিক্রিয়ায় প্রথমে অ্যাসিডের অ্যামোনিয়াম লবণ উৎপন্ন হয়—পরে উৎপন্ন অ্যামোনিয়াম লবণকে তীব্রভাবে উত্তপ্ত করলে অ্যাসিড অ্যামাইড উৎপন্ন হয়। অ্যাসিড অ্যামাইডকে P_2O_5 সহ উত্তপ্ত করলে নাইট্রাইল যৌগ উৎপন্ন হয়।

$$\underset{\text{অ্যাসিড}}{RCOOH} + NH_3 \longrightarrow \underset{\text{অ্যামোনিয়াম লবণ}}{RCOONH_4} \xrightarrow{\text{তাপ}} \underset{\text{অ্যাসিড অ্যামাইড}}{RCONH_2} \xrightarrow[-H_2O]{P_2O_5} \underset{\text{অ্যালকিল সায়ানাইড}}{RCN}$$

[3] কার্বনিল গ্রুপের (CO) বিক্রিয়া (Reaction of carbonyl group) ঃ

(a) ফ্যাটি অ্যাসিডের বিজারণ (Reduction of fatty acids) ঃ

(i) লিথিয়াম অ্যালুমিনিয়াম হাইড্রাইড ($LiAlH_4$) দ্বারা বিজারিত করলে, কার্বক্সিলিক অ্যাসিড বিজারিত হয়ে **অ্যালকোহলে** পরিণত হয়।

$$RCOOH \xrightarrow{LiAlH_4} RCH_2OH + H_2O$$

(ii) 400°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত কপার ও ক্রোমিয়াম অক্সাইড অনুঘটকের উপস্থিতিতে ফ্যাটি অ্যাসিড হাইড্রোজেন দ্বারা বিজারিত হয়ে অ্যালকোহল উৎপন্ন করে।

$$R\text{-}COOH \xrightarrow[CuO/Cr_2O_3]{[4H]} R\text{-}CH_2OH + H_2O$$

(4) কার্বক্সিলিক গ্রুপের অপসারণ (De-Carboxylation) ঃ

(a) ফর্মিক অ্যাসিড ছাড়া অন্যান্য **ফ্যাটি অ্যাসিডের সোডিয়াম লবণকে সোডা লাইম** দ্বারা উত্তপ্ত করলে, —COOH গ্রুপ হাইড্রোজেন দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে **অ্যালকেন** উৎপন্ন করে।

$$R\text{-}COONa + NaOH \xrightarrow[\Delta]{CaO} \underset{\text{অ্যালকেন}}{R—H} + Na_2CO_3$$

(b) অনার্দ্র CCl_4-এর মাধ্যমে **কার্বক্সিলিক অ্যাসিডের সিলভার লবণের সঙ্গে ব্রোমিনের বিক্রিয়ায়** অ্যাসিডের —COOH গ্রুপ ব্রোমিন দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে **অ্যালকিল ব্রোমাইড** উৎপন্ন হয়। যেমন, **সিলভার অ্যাসিটেটের** সঙ্গে Br_2-এর বিক্রিয়ায় **মিথাইল ব্রোমাইড** উৎপন্ন হয়।

$$CH_3COOAg + Br_2 \xrightarrow{CCl_4} CH_3Br + CO_2 + AgBr\downarrow$$

আয়োডিন ব্যবহার করলে **অ্যালকিল আয়োডাইড** উৎপন্ন হয়। এই বিক্রিয়াটিকে **হুনসডিকার বিক্রিয়া** (Hunsdiecker reaction) বলে। **এই বিক্রিয়া দ্বারা কোনো কার্বক্সিলিক অ্যাসিডকে তার আগের সমগণে পরিণত করা যায়।** যেমন,

$$\underset{\text{কার্বক্সিলিক অ্যাসিড}}{R\text{-}CH_2COOH} \xrightarrow{AgOH} R\text{-}CH_2COOAg \xrightarrow{Br_2/CCl_4} R\text{-}CH_2Br \xrightarrow[\text{জলীয় দ্রবণ}]{KOH} R\text{-}CH_2OH \xrightarrow[K_2Cr_2O_7/H_2SO_4]{[O]} RCOOH$$

(5) অ্যালকিল গ্রুপের হাইড্রোজেন পরমাণুর, হ্যালোজেন পরমাণু দ্বারা প্রতিস্থাপন ঃ

হেল-ভোলার্ড-জেলিনিস্কি বিকিয়া (Hell-Vollhardt-Zelinisky reaction) ঃ বিক্রিয়াটি সংক্ষেপে H.V.Z. নামে পরিচিত। **লাল P (অনুঘটক)-এর উপস্থিতিতে ব্রোমিন কিংবা ক্লোরিন, কার্বক্সিলিক অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়া করে α-হাইড্রোজেন পরমাণুকে প্রতিস্থাপিত করে।** উৎপন্ন যৌগকে α-হ্যালো অ্যাসিড বলে।

$$RCH_2COOH \xrightarrow{\text{লাল } P/X_2} R—CH(X)COOH \quad [X = Cl, Br]$$

একাধিক α-H পরমাণু থাকলে অতিরিক্ত হ্যালোজেন ব্যবহার করলে সবগুলি α-H পরমাণুই হ্যালোজেন পরমাণু দ্বারা প্রতিস্থাপিত হতে পারে।

যেমন ঃ $$RCH_2COOH \xrightarrow{\text{লাল P/অতিরিক্ত } Br_2} RCBr_2COOH$$

(6) ফর্মিক অ্যাসিড ছাড়া অন্যান্য **ফ্যাটি অ্যাসিডের ক্যালশিয়াম লবণকে** উত্তপ্ত করলে **কিটোন** পাওয়া যায়।

$$\underset{\text{ক্যালশিয়াম অ্যাসিটেট}}{(CH_3COO)_2Ca} \longrightarrow \underset{\text{অ্যাসিটোন}}{CH_3COCH_3} + CaCO_3$$

(7) ক্যালশিয়াম ফর্মেটের সঙ্গে ক্যালশিয়াম অ্যাসিটেটকে উত্তপ্ত করলে অ্যালডিহাইড উৎপন্ন হয়।

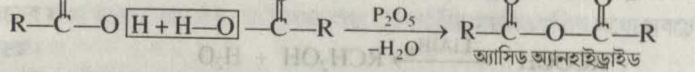
$$(CH_3\text{-}COO)_2Ca + (HCOO)_2Ca \longrightarrow \underset{\text{অ্যাসিট্যালডিহাইড}}{2CH_3CHO} + 2CaCO_3$$

(8) অ্যাসিডের সোডিয়াম বা পটাশিয়াম লবণকে তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করলে **হাইড্রোকার্বন** পাওয়া যায় (**কোলবের বিক্রিয়া**)।

$$CH_3COOK \rightleftharpoons CH_3COO^- + K^+$$

অ্যানোডে ঃ $$2CH_3COO^- - 2e \rightarrow 2CH_3COO \rightarrow \underset{\text{ইথেন}}{CH_3\text{—}CH_3} + 2CO_2\uparrow$$

(9) কার্বক্সিলিক অ্যাসিডকে ফসফরাস পেন্টক্সাইডের সঙ্গে উত্তপ্ত করলে অ্যাসিড অ্যানহাইড্রাইড উৎপন্ন হয়।



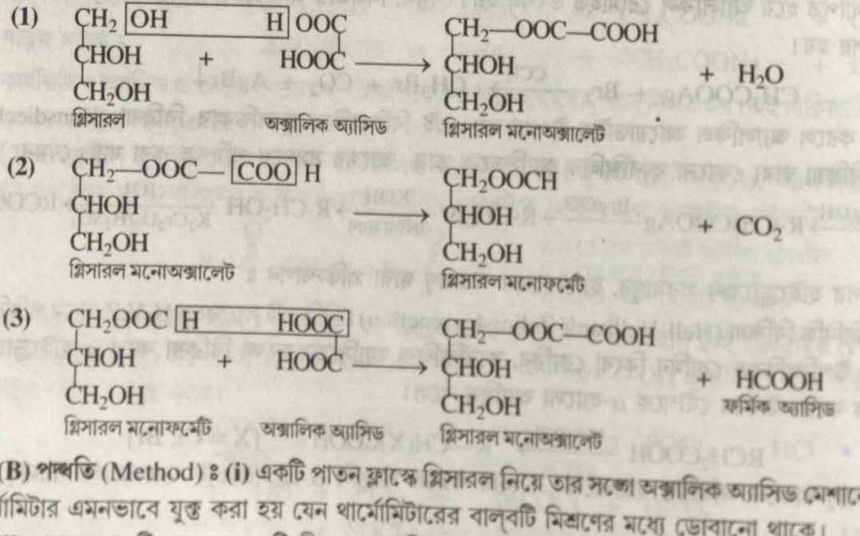
5.9. ফর্মিক অ্যাসিড বা মিথানোয়িক অ্যাসিড [Formic Acid, Methanoic Acid, HCOOH]

লাল পিঁপড়েকে শুষ্ক পাতন করে প্রথমে ফর্মিক অ্যাসিড পাওয়া গিয়েছিল। [পিঁপড়ের ল্যাটিন নাম *Formica*, সেজন্য অ্যাসিডের নাম ফর্মিক অ্যাসিড হয়েছে।]

● **পরীক্ষাগার প্রস্তুতি ঃ**

(A) নীতি (Principle) ঃ ল্যাবরেটরিতে **গ্লিসারল ও অক্সালিক অ্যাসিডকে 110°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করে ফর্মিক অ্যাসিড প্রস্তুত করা হয়।** এই বিক্রিয়া তিনটি ধাপে ঘটে।

(i) প্রথমে গ্লিসারল ও অক্সালিক অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় গ্লিসারল মনো-অক্সালেট উৎপন্ন হয়। **(ii)** গ্লিসারল মনো-অক্সালেট থেকে **গ্লিসারল মনোফর্মেট** উৎপন্ন হয়। **(iii)** গ্লিসারল মনোফর্মেট অতিরিক্ত অক্সালিক অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়ায় **ফর্মিক অ্যাসিড ও গ্লিসারল মনো-অক্সালেট** উৎপন্ন করে। এর থেকে আবার গ্লিসারল মনোফর্মেট উৎপন্ন হয়। বিক্রিয়াটি এইভাবে ক্রমাগত চলতে থাকে। এভাবে উৎপন্ন ফর্মিক অ্যাসিড জলমেশানো অবস্থায় থাকে।

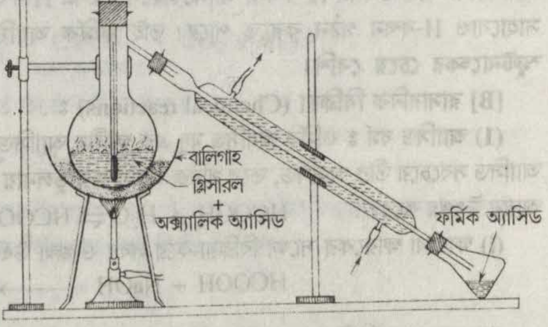


(B) পদ্ধতি (Method) ঃ (i) একটি পাতন ফ্লাস্কে গ্লিসারল নিয়ে তার সঙ্গে অক্সালিক অ্যাসিড মেশানো হয়। ফ্লাস্কটিতে একটি থার্মোমিটার এমনভাবে যুক্ত করা হয় যেন থার্মোমিটারের বাল্‌বটি মিশ্রণের মধ্যে ডোবানো থাকে।

(ii) পাতন ফ্লাস্কটির সঙ্গে একটি শীতক এবং শীতকের সঙ্গে একটি গ্রাহক যুক্ত থাকে।

(iii) ফ্লাস্কটিকে একটি বালিগাহের উপর রেখে উত্তপ্ত করা হয়। তাপমাত্রা 100ºC—110ºC-এ পৌঁছালে ফর্মিক অ্যাসিড পাতিত হতে শুরু করে এবং CO_2 নির্গত হয়। **(iv)** বিক্রিয়ার তীব্রতা কমে গেলে যখন CO_2-এর পরিমাণ হ্রাস পায় তখন ফ্লাস্কে আবার অক্সালিক অ্যাসিড যোগ করা হয়। **(v)** উৎপন্ন ফর্মিক অ্যাসিড গ্রাহক পাত্রে সঞ্চিত হয়।

(C) ফর্মিক অ্যাসিড থেকে জল মুক্ত করার উপায় ঃ অনার্দ্র ফর্মিক অ্যাসিড প্রস্তুতি— এইভাবে উৎপন্ন ফর্মিক অ্যাসিডের সঙ্গে জল থাকে। জলের স্ফুটনাঙ্ক 100ºC এবং ফর্মিক অ্যাসিডের স্ফুটনাঙ্ক 100·5ºC, উভয়ের স্ফুটনাঙ্ক প্রায় সমান হওয়ায় পাতন করে অ্যাসিডকে জলমুক্ত করা যায় না। আবার গাঢ় H_2SO_4 দ্বারাও ফর্মিক অ্যাসিডকে জলমুক্ত করা যায় না, কারণ গাঢ় H_2SO_4 দ্বারা ফর্মিক অ্যাসিড বিয়োজিত হয়ে CO উৎপন্ন করে। তাই অনার্দ্র ফর্মিক অ্যাসিড প্রস্তুত করার জন্য, **প্রথমে অ্যাসিডকে লেড কার্বনেট** দ্বারা প্রশমিত করা হয়। দ্রবণটিকে গাঢ় করে শীতল করলে লেড ফর্মেট কেলাস পাওয়া যায়। লেড ফর্মেটে কেলাস জল থাকে না। লেড ফর্মেট কেলাসকে সম্পূর্ণরূপে শুষ্ক করে একটি নলের মধ্যে রেখে, প্রায় 100ºC—110ºC উষ্ণতায় উত্তপ্ত করে নলটির মধ্য দিয়ে শুষ্ক H_2S গ্যাস চালনা করা হয়। লেড ফর্মেট H_2S-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে লেড সালফাইড এবং ফর্মিক অ্যাসিডে পরিণত হয়। উৎপন্ন ফর্মিক অ্যাসিড বাষ্পকে শীতকের মধ্য দিয়ে চালনা করে গ্রাহকে তরলরূপে সংগ্রহ করা হয়। এর সঙ্গে কিছু পরিমাণ H_2S গ্যাস থেকে যায়। সেইজন্য উৎপন্ন অ্যাসিডের সঙ্গে কিছু পরিমাণ শুষ্ক লেড ফর্মেট মিশিয়ে আবার পাতিত করলে অনার্দ্র ফর্মিক অ্যাসিড পাওয়া যায়।



চিত্র 5.4 ঃ ফর্মিক অ্যাসিড প্রস্তুতি

$$2HCOOH + PbCO_3 \longrightarrow (HCOO)_2Pb + CO_2 + H_2O$$
$$(HCOO)_2Pb + H_2S \longrightarrow PbS + 2HCOOH$$

● **শিল্প পদ্ধতি ঃ (1) কার্বন মনোক্সাইড গ্যাসকে 6 থেকে 10 atm চাপে 210ºC তাপমাত্রায় কস্টিক সোডা বা সোডা লাইমের সঙ্গে বিক্রিয়া করালে সোডিয়াম ফর্মেট উৎপন্ন হয়। এইভাবে উৎপন্ন সোডিয়াম ফর্মেটের সঙ্গে লঘু সালফিউরিক অ্যাসিড মিশিয়ে পাতিত করলে ফর্মিক অ্যাসিড পাওয়া যায়।**

$$CO + NaOH \xrightarrow[\text{6 atm চাপ}]{210^\circ C} \underset{\text{সোডিয়াম ফর্মেট}}{HCOONa}$$

$$2HCOONa + H_2SO_4 \longrightarrow 2HCOOH + Na_2SO_4$$

(2) কার্বন মনোক্সাইড এবং **জলীয় বাষ্পের মিশ্রণকে চারকোলে শোষিত অ্যামোনিয়াম আয়োডাইড** অনুঘটকের উপর দিয়ে 2000 অ্যাটমোস্ফিয়ার চাপে এবং 200ºC—300ºC উষ্ণতায় চালনা করলে ফর্মিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।

$$CO + HOH \xrightarrow[200^\circ C-300^\circ C]{2000\ atm} HCOOH$$

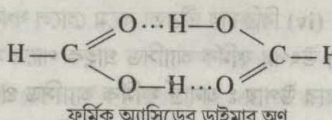
● **মিথাইল অ্যালকোহল থেকে ঃ মিথাইল অ্যালকোহলকে বায়ুর অক্সিজেন দ্বারা জারিত করলে ফর্মিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়। মিথাইল অ্যালকোহল বাষ্প ও বায়ুর মিশ্রণকে উত্তপ্ত প্ল্যাটিনাম ব্ল্যাক অনুঘটকের উপর দিয়ে চালনা করলে মিথাইল অ্যালকোহল জারিত হয়ে ফর্মিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।**

$$\underset{\text{মিথানল}}{CH_3OH} \xrightarrow[\text{Pt ব্ল্যাক}]{[O]} \underset{\text{ফর্মিক অ্যাসিড}}{HCOOH}$$

● **ফর্মিক অ্যাসিডের ধর্ম ও বিক্রিয়া ঃ**

[A] ভৌত ধর্ম (Physical properties) ঃ ঝাঁঝালো গন্ধযুক্ত, বর্ণহীন, জলাকর্ষী তরল, স্ফুটনাঙ্ক 100·5ºC, জলের চেয়ে ভারী। জল, অ্যালকোহল ও ইথারে যে-কোনো অনুপাতে দ্রবীভূত হয়। চামড়ার সংস্পর্শে এলে ক্ষতের সৃষ্টি করে।

ফর্মিক অ্যাসিডের অণুগুলি হাইড্রোজেন বন্ধনের সাহায্যে পরস্পরের সঙ্গে সংযোজিত অবস্থায় থাকে এবং ডাইমার অণু গঠন করে।



ফর্মিক অ্যাসিডের ডাইমার অণু

ফর্মিক অ্যাসিডের মধ্যে —O—H গ্রুপের পোলারিটি, অ্যালকোহলের —O—H গ্রুপের পোলারিটির চেয়ে বেশি। তাই ফর্মিক অ্যাসিডের মধ্যে উৎপন্ন H-বন্ধন, অ্যালকোহলে উৎপন্ন H বন্ধনের চেয়ে বেশি দৃঢ়। এছাড়া ফর্মিক অ্যাসিড —C═O গ্রুপের সাহায্যেও H-বন্ধন গঠন করতে পারে। তাই **ফর্মিক অ্যাসিডের স্ফুটনাঙ্ক সম আণবিক ওজনবিশিষ্ট অ্যালকোহলের স্ফুটনাঙ্কের চেয়ে বেশি।**

[B] রাসায়নিক বিক্রিয়া (Chemical reactions) ঃ

(1) অ্যাসিড ধর্ম ঃ ফর্মিক অ্যাসিড মৃদু এক ক্ষারীয় অ্যাসিড, নীল লিটমাসকে লাল করে। ফ্যাটি অ্যাসিডগুলির মধ্যে ফর্মিক অ্যাসিড সবচেয়ে তীব্র অ্যাসিড, তবে খনিজ অ্যাসিডের তুলনায় ফর্মিক অ্যাসিড অনেক মৃদু। জলীয় দ্রবণে বিয়োজিত হয়ে ফর্মেট আয়ন উৎপন্ন করে। $HCOOH + H_2O \rightleftharpoons HCOO^- + H_3O^+$

(i) ক্ষার বা ক্ষারকের সঙ্গে বিক্রিয়া করে লবণ ও জল উৎপন্ন করে।

$$HCOOH + NaOH \longrightarrow \underset{\text{সোডিয়াম ফর্মেট}}{HCOONa} + H_2O$$

(ii) ধাতব কার্বনেট এবং বাইকার্বনেটের সঙ্গে বিক্রিয়ায় ফর্মেট লবণ এবং CO_2 উৎপন্ন করে।

$$HCOOH + NaHCO_3 \longrightarrow HCOONa + CO_2\uparrow + H_2O$$
$$2HCOOH + Na_2CO_3 \longrightarrow 2HCOONa + CO_2\uparrow + H_2O$$

(iii) তীব্র ইলেকট্রোপজিটিভ ধাতুর সঙ্গে বিক্রিয়ায় ফর্মেট লবণ এবং **হাইড্রোজেন** মুক্ত করে।

$$2HCOOH + 2Na = 2HCOONa + H_2\uparrow$$

(2) এস্টার উৎপাদন ঃ গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের উপস্থিতিতে অ্যালকোহলের সঙ্গে বিক্রিয়ায় **ফর্মেট এস্টার** উৎপন্ন করে। (H_2SO_4-এর পরিমাণ বেশি হলে ফর্মিক অ্যাসিড বিয়োজিত হয়ে যায়।

$$HCOOH + CH_3OH \xrightarrow{\text{গাঢ় } H_2SO_4} \underset{\text{মিথাইল ফর্মেট}}{HCOOCH_3} + H_2O$$

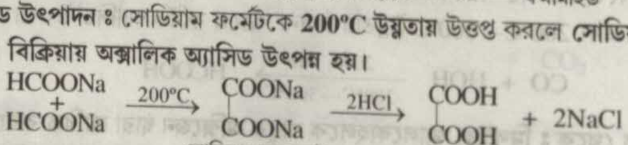
(3) PCl_5-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় ফরমাইল ক্লোরাইড উৎপন্ন করে যা বিয়োজিত হয়ে HCl এবং CO-তে পরিণত হয়।

$$HCOOH + PCl_5 \longrightarrow CO + POCl_3 + 2HCl$$

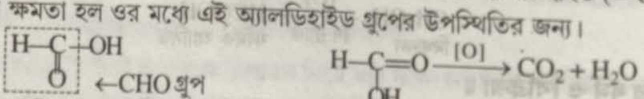
(4) NH_3-এর সঙ্গে ঃ ফর্মিক অ্যাসিডের সঙ্গে NH_3-এর বিক্রিয়ায় **অ্যামোনিয়াম ফর্মেট** উৎপন্ন হয়। অ্যামোনিয়াম ফর্মেট বিয়োজিত হয়ে **ফর্মামাইডে** পরিণত হয়।

$$HCOOH + NH_3 \longrightarrow \underset{\text{অ্যামোনিয়াম ফর্মেট}}{HCOONH_4} \xrightarrow[-H_2O]{\Delta} \underset{\text{ফর্মামাইড}}{HCONH_2}$$

(5) অক্সালিক অ্যাসিড উৎপাদন ঃ সোডিয়াম ফর্মেটকে **200°C উষ্ণতায়** উত্তপ্ত করলে **সোডিয়াম অক্সালেটে** পরিণত হয়। এর সঙ্গে **লঘু HCl-এর বিক্রিয়ায় অক্সালিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।**



(6) বিজারণ ক্ষমতা ঃ ফর্মিক অ্যাসিডের অন্যতম বৈশিষ্ট্য হল তার বিজারণ ক্ষমতা, যা অন্যান্য কার্বক্সিলিক অ্যাসিডের মধ্যে দেখা যায় না। ফর্মিক অ্যাসিডের গঠন লক্ষ করলে দেখা যায় যে এর মধ্যে অ্যালডিহাইড (—CHO) গ্রুপ বর্তমান আছে। ফর্মিক অ্যাসিডের বিজারণ ক্ষমতা হল ওর মধ্যে এই অ্যালডিহাইড গ্রুপের উপস্থিতির জন্য।



(i) ফর্মিক অ্যাসিড অ্যামোনিয়া যুক্ত সিলভার নাইট্রেট দ্রবণ বা টোলেন্স বিকারককে বিজারিত করে ধাতব Ag অধঃক্ষিপ্ত করে।

$$HCOOH + Ag_2O \longrightarrow 2Ag\downarrow + CO_2 + H_2O$$

(ii) **মারকিউরিক ক্লোরাইড দ্রবণকে** বিজারিত করে অদ্রাব্য **মারকিউরাস ক্লোরাইডের সাদা অধঃক্ষেপ** উৎপন্ন করে। অতিরিক্ত ফর্মিক অ্যাসিডের উপস্থিতিতে এবং গরম করলে ধূসর বর্ণের Hg-এর অধঃক্ষেপ পড়ে।

$$2HgCl_2 + HCOOH \longrightarrow \underset{\text{সাদা অধঃক্ষেপ}}{Hg_2Cl_2\downarrow} + CO_2 + 2HCl$$

$$2HCOOH + Hg_2Cl_2 \longrightarrow 2Hg + CO + CO_2 + H_2O + 2HCl$$

(iii) ফর্মিক অ্যাসিড **ফেলিং** দ্রবণকে বিজারিত করে লাল **বর্ণের কিউপ্রাস অক্সাইডের অধঃক্ষেপ** উৎপন্ন করে।

$$HCOOH \xrightarrow[\text{ফেলিং দ্রবণ}]{2CuO} \underset{\text{লাল অধঃক্ষেপ}}{Cu_2O\downarrow} + CO_2 + H_2O$$

(iv) ফর্মিক অ্যাসিড **পটাশিয়াম পারম্যাঙ্গানেটকে** বিজারিত করে বর্ণহীন করে।

$$HCOOH \xrightarrow[KMnO_4]{[O]} CO_2 + H_2O$$

(8) নিরুদন ঃ ফর্মিক অ্যাসিডকে গাঢ় H_2SO_4 সহ 100ºC উষ্ণতায় উত্তপ্ত করলে ফর্মিক অ্যাসিড নিরুদিত হয়ে কার্বন মনোক্সাইড উৎপন্ন করে। **অন্যান্য ফ্যাটি অ্যাসিডের সঙ্গে গাঢ় H_2SO_4-এর বিক্রিয়ায় CO নির্গত হয় না।**

$$HCOOH \xrightarrow[H_2SO_4]{\text{গাঢ়}} CO\uparrow + H_2O$$

● **ফর্মিক অ্যাসিডের শনাক্তকরণ পরীক্ষা ঃ** **(i)** প্রশম ফর্মেট দ্রবণে প্রশম ফেরিক ক্লোরাইড দ্রবণ যোগ করলে দ্রবণের বর্ণ লাল হয়। এই লবণকে উত্তপ্ত করলে বাদামি অধঃক্ষেপ উৎপন্ন হয়। **(ii)** ফর্মিক অ্যাসিডের সঙ্গে সামান্য উষ্ণ অ্যামোনিয়া যুক্ত $AgNO_3$ দ্রবণ যোগ করলে ধূসর বর্ণের ধাতব সিলভার অধঃক্ষিপ্ত হয়। **(iii)** বর্ণহীন মারকিউরিক ক্লোরাইড দ্রবণের সঙ্গে ফর্মিক অ্যাসিড মিশিয়ে, উত্তপ্ত করলে মারকিউরাস ক্লোরাইডের সাদা অধঃক্ষেপ পড়ে।

$$2HgCl_2 + HCOOH \longrightarrow Hg_2Cl_2 + CO_2 + 2HCl$$

● **ফর্মিক অ্যাসিডের ব্যবহার ঃ** **(i)** জীবাণুনাশক হিসাবে, **(ii)** চর্মশিল্পে, **(iii)** রবারের উৎপাদনে ফর্মিক অ্যাসিডের বহুল ব্যবহার আছে। **(iv)** বনস্পতি প্রস্তুতিতে অনুঘটক হিসাবে নিকেল ফর্মেট ব্যবহৃত হয়। **(v)** ইথাইল, বিউটাইল ও আইসো অ্যামাইল ফর্মেট দ্রাবক হিসাবে ব্যাপক ব্যবহৃত হয়।

5.10. অ্যাসিটিক অ্যাসিড বা ইথানোয়িক অ্যাসিড [Acetic Acid or Ethanoic Acid : CH_3COOH]

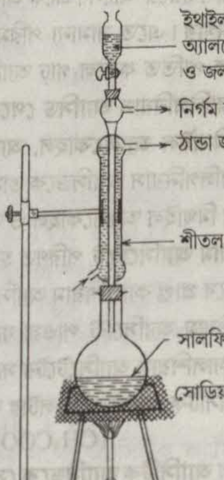
কাঠের অন্তর্ধূম পাতনে প্রাপ্ত পাইরোলিগনিয়াস অ্যাসিডে প্রায় 10% অ্যাসিটিক অ্যাসিড থাকে। টক স্বাদের মদে, কিছু ফলের রসে এবং কিছু উদ্ভিজ্জ তেলে অ্যাসিটিক অ্যাসিড থাকে।

●**অ্যাসিটিক অ্যাসিড প্রস্তুতি ঃ**

(1) পরীক্ষাগার পদ্ধতি (Laboratory method) ঃ

[A] নীতি ঃ ইথানলকে $K_2Cr_2O_7$ এবং গাঢ় H_2SO_4 দ্বারা জারিত করে অ্যাসেটিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।

$$\underset{\text{ইথানল}}{CH_3CH_2OH} \xrightarrow[K_2Cr_2O_7/H_2SO_4]{[O]} \underset{\text{অ্যাসিট্যালডিহাইড}}{CH_3CHO} \xrightarrow[K_2Cr_2O_7/H_2SO_4]{[O]} \underset{\text{অ্যাসিটিক অ্যাসিড}}{CH_3COOH}$$



চিত্র 5.5

[B] পদ্ধতি ঃ **(i)** একটি গোলতল ফ্লাস্কের মধ্যে পটাশিয়াম ডাইক্রোমেটের জলীয় দ্রবণ এবং গাঢ় H_2SO_4 নেওয়া হয়। **(ii)** ফ্লাস্কের মুখে একটি লিবিগ কনডেনসার যোগ করে, ওর শেষ প্রান্তে ইথানল পূর্ণ একটি বিন্দুপাতি ফানেল যোগ করা হয়। **(iii)** লিবিগ কনডেনসারের মধ্য দিয়ে শীতল জলের প্রবাহ চালনা করে ফ্লাস্কের মধ্যস্থ H_2SO_4 এবং $K_2Cr_2O_7$-এর দ্রবণকে ফুটানো হয় এবং সঙ্গে সঙ্গে বিন্দুপাতি ফানেল থেকে ইথানল যোগ করা হয়—এভাবে মিশ্রণটিকে রিফ্লাক্স করা হয়। **(iv)** ইথানল, উত্তপ্ত গাঢ় H_2SO_4 এবং $K_2Cr_2O_7$ দ্রবণ দ্বারা জারিত

হয়ে অ্যাসিটিক অ্যাসিডে পরিণত হয়। বিক্রিয়াটি সম্পূর্ণ হলে পর মিশ্রণটিকে পাতিত করা হয় এবং গ্রাহক পাত্রে অ্যাসিটিক অ্যাসিড জমা হয়।

[C] বিশুদ্ধিকরণ ঃ এইভাবে প্রাপ্ত অ্যাসিটিক অ্যাসিডের মধ্যে অ্যাসিট্যালডিহাইড, ইথার, জল ইত্যাদি অশুদ্ধিরূপে বর্তমান থাকে। **(i)** এর মধ্যে অতিরিক্ত **কপার কার্বনেট** যোগ করলে **কপার অ্যাসিটেট কেলাস** উৎপন্ন হয়। **(ii)** কপার অ্যাসিটেটকে সংগ্রহ করে পুনঃকেলাসিত করার পর কেলাসগুলিকে ধীরে ধীরে উত্তপ্ত করে কেলাস জল দূর করা হয়। **(iii)** এর পর শুষ্ক কপার অ্যাসিটেটের সঙ্গে গাঢ় H_2SO_4 যোগ করে পাতিত করলে বিশুদ্ধ অ্যাসিটিক অ্যাসিড পাতিত হয়।

(2) মিথাইল সায়ানাইডকে লঘু অ্যাসিড দ্বারা আর্দ্র-বিশ্লেষিত করে অ্যাসিটিক অ্যাসিড পাওয়া যায়।

$$CH_3CN \xrightarrow[HCl]{2H.OH} CH_3COOH + NH_4Cl$$



চিত্র 5.6

● শিল্প উৎপাদন ঃ (1) অ্যালকোহলের সন্ধান-পদ্ধতি (কুইক ভিনিগার পদ্ধতি) ঃ এই পদ্ধতিতে **লঘু ইথাইল অ্যালকোহল** দ্রবণ (15%-এর কম), **ব্যাকটেরিয়াম অ্যাসেটি** (Bacterium aceti) নামে একরকম ব্যাকটেরিয়ার সাহায্যে বায়ুর অক্সিজেন দ্বারা জারিত হয়ে **অ্যাসিটিক অ্যাসিড** বা **ভিনিগারে** পরিণত হয়।

একটি কাঠের পাত্র নেওয়া হয় যার উপর ও নীচে দুটি কাঠের তাক আছে, মাঝের তাকে পাশের দিকে অনেক ছিদ্র থাকে, পাত্রের গায়েও অনেক ছিদ্র থাকে। তাক দুটির মাঝে পুরানো ভিনিগারে ভেজানো **বিচ কাঠের টুকরো** ভর্তি করা থাকে।

পাত্রের উপর থেকে 8%—10% **ইথাইল অ্যালকোহল আস্তে আস্তে পাত্রের** মধ্যে ঢালা হয়। পুরানো ভিনিগারে ব্যাকটেরিয়াম অ্যাসেটি থাকে। পাত্রের গায়ের ছিদ্র দিয়ে বায়ু পাত্রের মধ্যে প্রবেশ করানো হয়। লঘু ইথাইল অ্যালকোহল ব্যাকটেরিয়াম অ্যাসেটির উপস্থিতিতে বায়ুর O_2 দ্বারা জারিত হয়ে লঘু অ্যাসিটিক অ্যাসিড (ভিনিগার) উৎপন্ন করে। বায়ুর পরিমাণ কম হলে অ্যাসিট্যালডিহাইড উৎপন্ন হয়।

$$CH_3CH_2OH \xrightarrow{[O]} CH_3CHO \xrightarrow{[O]} CH_3COOH$$

বিক্রিয়াটি তাপমোচী বলে বিক্রিয়ার সময় উষ্ণতা 30ºC—35ºC-এর মধ্যে রাখা হয়। জারিত অ্যালকোহল পাত্রের তলদেশের নির্গম-নল দিয়ে বেরিয়ে আসে। একে আবার উপর থেকে ঢালা হয়। এইভাবে অ্যাসিটিক অ্যাসিডের পরিমাণ 5%—6% দাঁড়ায়, এরই নাম **ভিনিগার**। এতে সামান্য পরিমাণ **অ্যালকোহল, টারটারিক অ্যাসিড** ইত্যাদি অশুদ্ধিরূপে বর্তমান থাকে।

ভিনিগারকে পাতিত করলে গাঢ় অ্যাসিটিক অ্যাসিড পাওয়া যায়।

(2) পাইরোলিগনিয়াস অ্যাসিড থেকে ঃ কাঠের অন্তর্ধূম পাতনের ফলে পাইরোলিগনিয়াস অ্যাসিড পাওয়া যায়। এর মধ্যে অল্প পরিমাণ **মিথাইল অ্যালকোহল, অ্যাসিটোন** এবং **10% অ্যাসিটিক অ্যাসিড** থাকে।

(i) পাইরোলিগনিয়াস অ্যাসিডকে তামার পাত্রে ফোটানো হয় এবং নির্গত বাষ্পকে চুনগোলার $[Ca(OH)_2]$ মধ্য দিয়ে চালনা করা হয়। ফলে মিথাইল অ্যালকোহল ও অ্যাসিটোন বিক্রিয়া না করে বেরিয়ে যায় কিন্তু **অ্যাসিটিক অ্যাসিড চুনের সঙ্গে বিক্রিয়া করে ক্যালশিয়াম অ্যাসিটেটে** পরিণত হয়। $Ca(OH)_2 + 2CH_3COOH \longrightarrow (CH_3COO)_2Ca + 2H_2O$

(ii) এইভাবে প্রাপ্ত ক্যালশিয়াম অ্যাসিটেটকে 200ºC **উষ্ণতায় উত্তপ্ত করলে** ওর মধ্যস্থ জৈব অশুদ্ধি বেরিয়ে যায় এবং ধূসর রং-এর ক্যালশিয়াম অ্যাসিটেট পাওয়া যায়। একে **'গ্রে অ্যাসিটেট অফ লাইম'** বলে।

(iii) এই ক্যালশিয়াম অ্যাসিটেটের সঙ্গে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড মিশিয়ে পাতন করলে অ্যাসিটিক অ্যাসিড পাতিত হয় যা প্রায় 40% অ্যাসিটিক অ্যাসিড। ফিলটার করে অ্যাসিটিক অ্যাসিডকে অদ্রাব্য $CaSO_4$ থেকে পৃথক করা হয়।

$$(CH_3COO)_2Ca + H_2SO_4 \longrightarrow 2CH_3COOH + CaSO_4\downarrow$$

(iv) উৎপন্ন **অ্যাসিটিক অ্যাসিডকে সোডিয়াম কার্বনেট** দিয়ে প্রশমিত করে দ্রবণটিকে উত্তপ্ত করে গাঢ় করার পর আস্তে আস্তে ঠান্ডা করলে **সোডিয়াম অ্যাসিটেটের** সোদক কেলাস ($CH_3COONa, 3H_2O$) অধঃক্ষিপ্ত হয়। এই কেলাসকে উত্তপ্ত করে **অনার্দ্র সোডিয়াম অ্যাসিটেট** পাওয়া যায়।

(v) অনার্দ্র সোডিয়াম অ্যাসিটেটকে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের সঙ্গে মিশিয়ে পাতন করলে অনার্দ্র এবং বিশুদ্ধ অ্যাসিটিক

অ্যাসিড পাতিত হয়। একে বরফে ঠান্ডা করলে অ্যাসিটিক অ্যাসিড বরফের মতো কঠিন হয়। এর গলনাঙ্ক 16·5°C, **বরফের মতো দেখায় বলে একে গ্লেসিয়াল অ্যাসিটিক অ্যাসিড বলে।**

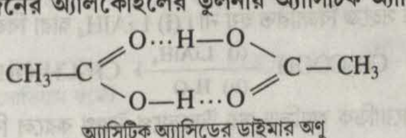
(3) অ্যাসিটিলিন থেকে অ্যাসিটিক অ্যাসিড ঃ বর্তমানে এই পদ্ধতিতেই **অ্যাসিটিক অ্যাসিডের শিল্প-উৎপাদন** করা হয়। **লঘু সালফিউরিক অ্যাসিডে মারকিউরিক সালফেট** (1%) দ্রবীভূত করা হয় এবং **দ্রবণটির উষ্ণতা প্রায় 80°C-এ রাখা হয়। এর মধ্যে অ্যাসিটিলিন গ্যাস** চালনা করলে অ্যাসিটিলিন জলের সঙ্গে বিক্রিয়া করে **অ্যাসিট্যালডিহাইডে** পরিণত হয়। নির্গত অ্যাসিট্যালডিহাইড বাষ্পকে বায়ুর সঙ্গে মিশিয়ে 60°C—70°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত **ম্যাঙ্গানিজ অ্যাসিটেট অনুঘটকের উপর দিয়ে চালনা করলে প্রায় 97% বিশুদ্ধ অ্যাসিটিক অ্যাসিড পাওয়া যায়।**

$$\underset{\text{অ্যাসিটিলিন}}{H{-}C{\equiv}C{-}H} + H_2O \xrightarrow[HgSO_4]{20\%\ H_2SO_4} \underset{\text{অ্যাসিট্যালডিহাইড}}{CH_3{-}CHO} \xrightarrow[\text{Mn-অ্যাসিটেট}]{[O]} \underset{\text{অ্যাসিটিক অ্যাসিড}}{CH_3COOH}$$

● **অ্যাসিটিক অ্যাসিডের ধর্ম ও বিক্রিয়া ঃ**

[A] ভৌত ধর্ম (Physical properties) ঃ **অ্যাসিটিক অ্যাসিড ঝাঁঝালো গন্ধযুক্ত বর্ণহীন তরল পদার্থ।** এর গন্ধ ভিনিগারের মতো। স্ফুটনাঙ্ক 118°C, 16·7°C তাপমাত্রায় কঠিন হয়ে বরফের মতো স্বচ্ছ পদার্থে পরিণত হয়। এইজন্য বিশুদ্ধ অ্যাসিটিক অ্যাসিডকে **'গ্লেসিয়াল অ্যাসিটিক অ্যাসিড'** বলে। অ্যাসিটিক অ্যাসিড জল, অ্যালকোহল ও ইথারে দ্রাব্য।

অ্যাসিটিক অ্যাসিডের অণুগুলি হাইড্রোজেন বন্ধন দ্বারা পরস্পরের সঙ্গে যুক্ত হয়ে সংযোজিত অবস্থায় থাকে এবং ডাইমার উৎপন্ন করে। **এইজন্য সম আণবিক ওজনের অ্যালকোহলের তুলনায় অ্যাসিটিক অ্যাসিডের স্ফুটনাঙ্ক বেশি।**



অ্যাসিটিক অ্যাসিডের ডাইমার অণু

অ্যাসিটিক অ্যাসিড বহু জৈব পদার্থের দ্রাবক—বহু জৈব পদার্থ এবং আয়োডিন, সালফার, ফসফরাস অ্যাসিটিক অ্যাসিডে দ্রবীভূত হয়।

[B] রাসায়নিক ধর্ম (Chemical Properties) ঃ

(1) অ্যাসিড ধর্ম ঃ জলীয় দ্রবণে অ্যাসিটিক অ্যাসিড কম মাত্রায় বিয়োজিত হয়ে হাইড্রোজেন আয়ন (H^+) এবং অ্যাসিটেট আয়ন (CH_3COO^-) উৎপন্ন করে। অ্যাসিটিক অ্যাসিড একটি দুর্বল একক্ষারী অ্যাসিড।

$$CH_3COOH + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + CH_3COO^-$$

(i) ক্ষার বা ক্ষারকের সঙ্গে বিক্রিয়া করে অ্যাসিটেট লবণ এবং জল উৎপন্ন করে।

$$CH_3COOH + NaOH \longrightarrow \underset{\text{সোডিয়াম অ্যাসিটেট}}{CH_3COONa} + H_2O$$

$$2CH_3COOH + CaO \longrightarrow \underset{\text{ক্যালশিয়াম অ্যাসিটেট}}{(CH_3COO)_2Ca} + H_2O$$

(ii) ধাতব কার্বনেট এবং বাই কার্বনেটের সঙ্গে বিক্রিয়ায় অ্যাসিটেট লবণ এবং CO_2 উৎপন্ন করে।

$$2CH_3COOH + Na_2CO_3 \longrightarrow 2CH_3COONa + CO_2 + H_2O$$

(iii) তীব্র ইলেকট্রোপজিটিভ ধাতুর সঙ্গে বিক্রিয়ায় **অ্যাসিটেট লবণ** এবং H_2 উৎপন্ন করে।

$$2CH_3COOH + 2Na \longrightarrow 2CH_3COONa + H_2$$

(2) এস্টার উৎপাদন ঃ ইথাইল অ্যালকোহলের সঙ্গে গাঢ় H_2SO_4-এর উপস্থিতিতে বিক্রিয়া করে **ইথাইল অ্যাসিটেট এস্টার** উৎপন্ন করে। এটি উভমুখী বিক্রিয়া।

$$CH_3COOH + C_2H_5OH \underset{}{\overset{H_2SO_4}{\rightleftharpoons}} CH_3COOC_2H_5 + H_2O$$

(3) অ্যাসিটাইল ক্লোরাইড উৎপাদন ঃ PCl_5, PCl_3 **বা থায়োনিল ক্লোরাইডের** সঙ্গে অ্যাসিটিক অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় **অ্যাসিটাইল ক্লোরাইড** উৎপন্ন হয়।

$$CH_3COOH + PCl_5 \longrightarrow CH_3COCl + POCl_3 + HCl$$

$$3CH_3COOH + PCl_3 \longrightarrow 3CH_3COCl + H_3PO_3$$

$$CH_3COOH + SOCl_2 \longrightarrow CH_3COCl + SO_2 + 2HCl$$

(4) হ্যালোজিনেশন ঃ ফুটন্ত অ্যাসিটিক অ্যাসিডের মধ্যে ক্লোরিন গ্যাস চালনা করলে অথবা **লাল P-এর উপস্থিতিতে Cl_2-এর সঙ্গে বিক্রিয়া** করালে মিথাইল মূলকের হাইড্রোজেন একটির পর একটি ক্লোরিন পরমাণু দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে যথাক্রমে **মনো, ডাই এবং ট্রাইক্লোরো অ্যাসিটিক অ্যাসিডে** পরিণত হয়।

$$CH_3COOH \xrightarrow[-HCl]{Cl_2} \underset{\text{মনোক্লোরো অ্যাসিটিক অ্যাসিড}}{CH_2ClCOOH} \xrightarrow[-HCl]{Cl_2} \underset{\text{ডাইক্লোরো অ্যাসিটিক অ্যাসিড}}{CHCl_2COOH} \xrightarrow[-HCl]{Cl_2} \underset{\text{ট্রাইক্লোরো অ্যাসিটিক অ্যাসিড}}{CCl_3COOH}$$

ব্রোমিনও অনুরূপভাবে বিক্রিয়া করে।

(5) অ্যাসিটিক অ্যানহাইড্রাইড উৎপাদন ঃ অ্যাসিটিক অ্যাসিডকে P_2O_5-এর সঙ্গে পাতিত করলে **অ্যাসিটিক অ্যানহাইড্রাইড** উৎপন্ন হয়।

$$2CH_3COOH \xrightarrow[-H_2O]{P_2O_5/\Delta} CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-O-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-CH_3$$

(6) অ্যামাইড যৌগ গঠন ঃ অ্যাসিটিক অ্যাসিড NH_3-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় প্রথমে **অ্যামোনিয়াম অ্যাসিটেট** লবণ উৎপন্ন হয়। একে উত্তপ্ত করলে **অ্যাসিট্যামাইড যৌগ** উৎপন্ন হয়।

$$CH_3COOH + NH_3 \longrightarrow \underset{\text{অ্যামোনিয়াম অ্যাসিটেট}}{CH_3COONH_4} \xrightarrow{\Delta} \underset{\text{অ্যাসিট্যামাইড}}{CH_3CONH_2} + H_2O$$

(7) বিজারণ ঃ অ্যাসিটিক অ্যাসিড সহজে বিজারিত হয় না। **(i)** $LiAlH_4$ দ্বারা বিজারিত হয়ে ইথাইল অ্যালকোহলে পরিণত হয়।

$$CH_3COOH \xrightarrow[\text{(ii) } H_2O]{\text{(i) } LiAlH_4} CH_3CH_2OH$$

(ii) লাল ফসফরাস ও হাইড্রোআয়োডিক অ্যাসিড সহ উচ্চচাপে উত্তপ্ত করলে বিজারিত হয়ে **ইথেনে** পরিণত হয়।

$$CH_3COOH \xrightarrow{\text{লাল } P + HI} CH_3CH_3$$

(8) ডিকার্বক্সিলেশন ঃ (i) সোডিয়াম লবণকে সোডালাইম দ্বারা উত্তপ্ত করলে **মিথেন** উৎপন্ন হয়।

$$CH_3COONa + NaOH \xrightarrow{CaO} CH_4 + Na_2CO_3$$

(ii) ক্যালশিয়াম লবণকে শুষ্ক পাতন করলে **অ্যাসিটোন** উৎপন্ন হয়।

$$(CH_3COO)_2Ca \xrightarrow{\text{শুষ্ক পাতন}} \underset{\text{অ্যাসিটোন}}{CH_3COCH_3} + CaCO_3$$

● **অ্যাসিটিক অ্যাসিডের শনাক্তকরণ ঃ (1)** অ্যাসিটিক অ্যাসিড এবং ইথাইল অ্যালকোহলের মিশ্রণে সামান্য গাঢ় H_2SO_4 মিশিয়ে উত্তপ্ত করে ঠান্ডা জলে ঢাললে ইথাইল অ্যাসিটেটের মিষ্টি গন্ধ পাওয়া যায়।

(2) অ্যাসিটিক অ্যাসিডকে KOH দ্বারা প্রশমিত করে উৎপন্ন পটাশিয়াম অ্যাসিটেটকে **শুষ্ক** করে সামান্য আর্সেনিয়াস অক্সাইড মিশিয়ে উত্তপ্ত করলে অত্যন্ত দুর্গন্ধযুক্ত এবং বিষাক্ত **ক্যাকোডিল অক্সাইড গ্যাস** উৎপন্ন হয়।

$$4CH_3COOK + As_2O_3 \longrightarrow \underset{\text{(ক্যাকোডিল অক্সাইড)}}{(CH_3)_2As-O-As(CH_3)_2} + 2CO_2 + 2K_2CO_3$$

● **অ্যাসিটিক অ্যাসিডের ব্যবহার ঃ (i)** সেলুলোজ অ্যাসিটেট প্রস্তুতিতে অ্যাসিটিক অ্যাসিডের ব্যবহার সর্বাধিক। সেলুলোজ অ্যাসিটেট কৃত্রিম তন্তু, সিনেমা ফিল্ম, সিগারেটের ফিলটার ইত্যাদি প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত হয়। **(ii)** অ্যাসিটোন, অ্যাসিটিক অ্যানহাইড্রাইড, অ্যাসিট্যাল ক্লোরাইড প্রভৃতি প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত হয়। **(iii)** বিভিন্ন অ্যাসিটেট লবণ এবং ওষুধ প্রস্তুতেও ব্যবহৃত হয়। যেমন, ক্ষারীয় কপার অ্যাসিটেট বা ভারডিগ্রিস (verdigris), সবুজ রং ও ক্ষারীয় লেড অ্যাসিটেট বা হোয়াইট লেড নামে সাদা রং প্রস্তুতে প্রচুর ব্যবহৃত হয়। **(iv)** ভিনিগার হিসাবে লঘু অ্যাসিটিক অ্যাসিডের বহুল ব্যবহার আছে।

5.11. অক্সালিক অ্যাসিড বা ইথেন ডাইওয়িক অ্যাসিড [Oxalic Acid or Ethanedioic Acid : $\begin{matrix} COOH \\ | \\ COOH \end{matrix}$]

অক্সালিক অ্যাসিড সরলতম ডাই কার্বক্সিলিক অ্যাসিড। এটি দ্বিক্ষারীয় অ্যাসিড। বহু উদ্ভিদে অক্সালিক অ্যাসিড পাওয়া যায়। ক্যালশিয়াম (অক্সালেট) লবণরূপে ওল, কচু প্রভৃতিতে পাওয়া যায়। মূত্রে অ্যামোনিয়াম অক্সালেটরূপে পাওয়া যায়।

● **অক্সালিক অ্যাসিড প্রস্তুতি (Preparation of Oxalic Acid) ঃ**

(1) পরীক্ষাগার প্রস্তুত প্রণালী (Laboratory method of preparation) ঃ

(A) নীতি ঃ পরীক্ষাগারে **চিনি অর্থাৎ সুক্রোজকে সামান্য পরিমাণ ভ্যানাডিয়াম পেন্টোক্সাইডের উপস্থিতিতে নাইট্রিক অ্যাসিড দ্বারা জারিত করে অক্সালিক অ্যাসিড উৎপন্ন করা হয়।**

$$C_{12}H_{22}O_{11} + 9O_2 \xrightarrow[\text{গাঢ় } HNO_3\text{, তাপ}]{V_2O_5} \underset{\text{অক্সালিক অ্যাসিড}}{6(COOH)_2} + 5H_2O$$

(B) পদ্ধতি ঃ একটি চ্যাপ্টাতল ফ্লাস্কের মধ্যে 80 গ্রাম চিনির চূর্ণ সুক্রোজ নিয়ে ওর সঙ্গে 150 মিলি গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিড এবং 0·1 গ্রাম V_2O_5 যোগ করে ফ্লাস্কটিকে জলগাহের উপর রেখে মৃদু উত্তপ্ত করা হয়। সঙ্গে সঙ্গে বিক্রিয়া শুরু হয় এবং বিক্রিয়ার ফলে বাদামি বর্ণের নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইড গ্যাস নির্গত হয়। বাদামি NO_2 গ্যাস নির্গমন বন্ধ হলে বুঝতে হবে বিক্রিয়াটি সম্পূর্ণ হয়েছে। এখন ফ্লাস্কের মধ্যস্থ দ্রবণটিকে চায়না ক্লে নির্মিত পাত্রে নিয়ে উত্তপ্ত করে দ্রবণটিকে গাঢ় করে অতিপৃক্ত করা হয়। এই অতিপৃক্ত দ্রবণটিকে নাড়াচাড়া না করে ঠান্ডা করলে অক্সালিক অ্যাসিডের কেলাস $(COOH)_2, 2H_2O$ পাওয়া যায়।

● **শিল্পোৎপাদন পদ্ধতি ঃ (1) সোডিয়াম ফর্মেট থেকে ঃ** 200ºC উত্তপ্ত 30%—40% NaOH দ্রবণে 14-18 atm চাপে CO গ্যাস চালনা করলে সোডিয়াম ফর্মেট উৎপন্ন হয়। উৎপন্ন সোডিয়াম ফর্মেটকে 360ºC উষ্ণতায় উত্তপ্ত করলে সোডিয়াম অক্সালেট উৎপন্ন হয়। উৎপন্ন সোডিয়াম অক্সালেটের দ্রবণের সঙ্গে মিল্ক অফ লাইম যোগ করে উত্তপ্ত করলে অদ্রাব্য ক্যালশিয়াম অক্সালেট অধঃক্ষিপ্ত হয়। ফিলটার করে ওকে সংগ্রহ করে লঘু H_2SO_4-এর সঙ্গে বিক্রিয়া ঘটালে অক্সালিক অ্যাসিড পাওয়া যায়। অক্সালিক অ্যাসিড দ্রবণটিকে গাঢ় করে শীতল করলে অক্সালিক অ্যাসিডের কেলাস পাওয়া যায়।

$$NaOH + CO \xrightarrow[200^\circ C]{\text{14-18 atm চাপ}} \underset{\text{সোডিয়াম ফর্মেট}}{HCOONa} \quad ; \quad 2HCOONa \xrightarrow[\Delta]{360^\circ C} \underset{\text{Na-অক্সালেট}}{\begin{array}{l}COONa\\ |\\ COONa\end{array}} + H_2$$

$$\begin{array}{l}COONa\\ |\\ COONa\end{array} + Ca(OH)_2 \longrightarrow \underset{\text{Ca-অক্সালেট}}{\begin{array}{l}COO\\ |\\ COO\end{array}\!\!>Ca\downarrow} + 2NaOH$$

$$\begin{array}{l}COO\\ |\\ COO\end{array}\!\!>Ca + H_2SO_4 \longrightarrow \underset{\text{অক্সালিক অ্যাসিড}}{\begin{array}{l}COOH\\ |\\ COOH\end{array}} + CaSO_4\downarrow$$

(2) সায়ানোজেন থেকে ঃ সায়ানোজেন গাঢ় HCl দ্বারা আর্দ্রবিশ্লেষণ করলে অক্সালিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।

$$\begin{array}{l}CN\\ |\\ CN\end{array} + 4H_2O + 2HCl \longrightarrow \begin{array}{l}COOH\\ |\\ COOH\end{array} + 2NH_4Cl$$

(3) ইথিলিন থেকে ঃ ইথিলিনের সঙ্গে Br_2-এর বিক্রিয়ায় প্রথমে ইথিলিন ডাই ব্রোমাইড উৎপন্ন করা হয়। উৎপন্ন ডাই ব্রোমাইডকে NaOH মিশ্রিত $KMnO_4$ দ্রবণ দ্বারা জারিত করলে সোডিয়াম অক্সালেট উৎপন্ন হয়। সোডিয়াম অক্সালেটের সঙ্গে লঘু অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় অক্সালিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।

$$\underset{\text{ইথিলিন}}{\begin{array}{l}CH_2\\ \|\\ CH_2\end{array}} + Br_2 \longrightarrow \underset{\text{ইথিলিন ডাই ব্রোমাইড}}{\begin{array}{l}CH_2Br\\ |\\ CH_2Br\end{array}} \xrightarrow[\text{NaOH দ্রবণ}]{KMnO_4} \underset{\text{সোডিয়াম অক্সালেট}}{\begin{array}{l}COONa\\ |\\ COONa\end{array}} \xrightarrow[H^+]{H_2O} \underset{\text{অক্সালিক অ্যাসিড}}{\begin{array}{l}COOH\\ |\\ COOH\end{array}}$$

● **অক্সালিক অ্যাসিডের ধর্ম ও বিক্রিয়া ঃ**

[A] ভৌত ধর্ম (Physical properties) ঃ জলীয় দ্রবণ থেকে প্রিজমের আকার বিশিষ্ট বর্ণহীন ডাইহাইড্রেট রূপে অক্সালিক অ্যাসিড $[(COOH)_2.2H_2O]$ কেলাসিত হয়। এতে দু-অণু কেলাস জল থাকে। সোদক কেলাসের গলনাঙ্ক 101ºC। সোদক কেলাস 100ºC উষ্ণতায় কেলাস জল মুক্ত হয়ে অনার্দ্র অক্সালিক অ্যাসিডে পরিণত হয়। অক্সালিক অ্যাসিড জলে ও অ্যালকোহলে দ্রাব্য কিন্তু ইথারে অদ্রাব্য। অক্সালিক অ্যাসিড এবং এর লবণগুলি বিষাক্ত।

[B] রাসায়নিক বিক্রিয়া (Chemical reactions) :

(1) অ্যাসিড ধর্ম : দ্বিক্ষারীয় অ্যাসিড, জলীয় দ্রবণ নীল লিটমাসকে লাল করে। ক্ষারের সঙ্গে বিক্রিয়ায় অক্সালেট লবণ উৎপন্ন করে।

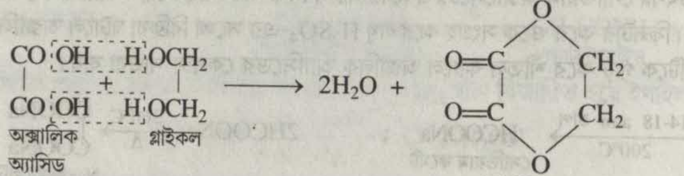
$$\begin{matrix}COOH\\ |\\ COOH\end{matrix} + NaOH \longrightarrow \underset{\text{সোডিয়াম হাইড্রোজেন অক্সালেট}}{\begin{matrix}COONa\\ |\\ COOH\end{matrix}} + H_2O \quad ; \quad \begin{matrix}COOH\\ |\\ COOH\end{matrix} + 2NaOH \longrightarrow \underset{\text{সোডিয়াম অক্সালেট}}{\begin{matrix}COONa\\ |\\ COONa\end{matrix}} + 2H_2O$$

(2) $CaCl_2$-এর সঙ্গে অক্সালিক অ্যাসিডের বিক্রিয়ায় অদ্রাব্য ক্যালশিয়াম অক্সালেটের সাদা অধঃক্ষেপ পড়ে যা অ্যাসিটিক অ্যাসিডে অদ্রাব্য।

(3) এস্টার গঠন : (i) গাঢ় H_2SO_4-এর উপস্থিতিতে **অনার্দ্র অক্সালিক অ্যাসিডকে মিথানল বা ইথানল সহ রিফ্লাক্স করলে যথাক্রমে মিথাইল অক্সালেট ও ইথাইল অক্সালেট** উৎপন্ন হয়।

$$\begin{matrix}COOH\\ |\\ COOH\end{matrix} + 2ROH \longrightarrow \begin{matrix}COOR\\ |\\ COOR\end{matrix} \quad \text{যেখানে,} \begin{matrix}R = CH_3 \text{ হলে মিথাইল অক্সালেট}\\ R = C_2H_5 \text{ হলে ইথাইল অক্সালেট}\end{matrix}$$

(ii) ইথিলিন গ্লাইকলের সঙ্গে উত্তপ্ত করলে **ইথিলিন অক্সালেট** (বদ্ধ-শৃঙ্খল বিশিষ্ট জৈব যৌগ) উৎপন্ন হয়।



ইথিলিন অক্সালেট

(4) PCl_5-এর সঙ্গে : PCl_5-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় প্রথমে **অক্সালাইল ক্লোরাইড** উৎপন্ন হয়, যা বিয়োজিত হয়ে **ফসজিনে (কার্বনিল ক্লোরাইড)** পরিণত হয়।

$$\begin{matrix}COOH\\ |\\ COOH\end{matrix} + 2PCl_5 \longrightarrow 2POCl_3 + 2HCl + \underset{\text{অক্সালাইল ক্লোরাইড}}{\begin{matrix}COCl\\ |\\ COCl\end{matrix}} \longrightarrow CO + \underset{\text{ফসজিন}}{COCl_2}$$

PCl_3 এবং $SOCl_2$-এর সঙ্গে অনুরূপ বিক্রিয়া ঘটে। এই বিক্রিয়ায় অক্সালিক অ্যাসিডের দুটি —OH গ্রুপ, দুটি Cl পরমাণু দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়।

(5) অ্যামোনিয়ার সঙ্গে বিক্রিয়ায় প্রথমে **অ্যামোনিয়াম অক্সালেট** উৎপন্ন হয়। উৎপন্ন অ্যামোনিয়াম অক্সালেটকে উত্তপ্ত করলে **অক্সামাইড** যৌগ উৎপন্ন হয়।

$$\begin{matrix}COOH\\ |\\ COOH\end{matrix} + 2NH_3 \longrightarrow \underset{\text{অ্যামোনিয়াম অক্সালেট}}{\begin{matrix}COONH_4\\ |\\ COONH_4\end{matrix}} \xrightarrow{\text{তাপ}} \underset{\text{অক্সামাইড}}{\begin{matrix}CONH_2\\ |\\ CONH_2\end{matrix}} + 2H_2O$$

(6) অক্সালিক অ্যাসিডকে উত্তপ্ত করলে (~180ºC) বিয়োজিত হয়ে **ফর্মিক অ্যাসিড ও CO_2**-এ পরিণত হয়। 200ºC-এর ঊর্ধ্বে কার্বন মনোক্সাইড, কার্বন ডাইঅক্সাইড ও স্টিমে পরিণত হয়।

$$(COOH)_2 \xrightarrow{\sim 180^\circ C} HCOOH + CO_2 \quad ; \quad (COOH)_2 \xrightarrow{200^\circ C} CO + CO_2 + H_2O$$

(7) নিরুদন : অক্সালিক অ্যাসিডকে গাঢ় H_2SO_4 সহযোগে 100ºC তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করলে গঠন-জল অনুমোচিত হয়ে কার্বন মনোক্সাইড ও কার্বন ডাইঅক্সাইড উৎপন্ন হয়।

$$\begin{matrix}COOH\\ |\\ COOH\end{matrix} + H_2SO_4 \longrightarrow CO + CO_2 + H_2O + H_2SO_4$$

(8) জারণ—$KMnO_4$-এর সঙ্গে : লঘু H_2SO_4 মিশ্রিত বেগুনি বর্ণের $KMnO_4$ দ্রবণের সঙ্গে বিক্রিয়ায় অক্সালিক

অ্যাসিড জারিত হয়ে CO_2 এবং জল উৎপন্ন করে এবং $KMnO_4$ বর্ণহীন ম্যাঙ্গানাস লবণে পরিণত হয়। ফলে বেগুনি বর্ণ, বর্ণহীন হয়।

$$\begin{matrix}COOH\\|\\COOH\end{matrix} + \xrightarrow[KMnO_4/H_2SO_4]{[O]} 2CO_2 + H_2O$$

$$2KMnO_4 + 3H_2SO_4 + 5(COOH)_2 \longrightarrow K_2SO_4 + 2MnSO_4 + 8H_2O + 10CO_2$$

এই বিক্রিয়া পরিমাণগতভাবে ঘটে, তাই এই বিক্রিয়ার সাহায্যে আয়তনমাত্রিক পদ্ধতিতে $KMnO_4$ দ্রবণের মাত্রা নির্ণয় করা হয়।

(9) বিজারণ ঃ জিঙ্ক ও লঘু অ্যাসিড (HCl এবং H_2SO_4) দ্বারা বিজারিত হয়ে **গ্লাইকলিক অ্যাসিডে** পরিণত হয়।

$$\begin{matrix}COOH\\|\\COOH\end{matrix} \xrightarrow{Zn/HCl} \begin{matrix}COOH\\|\\CH_2OH\end{matrix}$$

গ্লাইকলিক অ্যাসিড

● **অক্সালিক অ্যাসিডের শনাক্তকরণ ঃ (1)** অক্সালিক অ্যাসিডের সঙ্গে $CaCl_2$ দ্রবণ যোগ করলে অদ্রাব্য ক্যালশিয়াম অক্সালেটের সাদা অধঃক্ষেপ উৎপন্ন করে যা অ্যাসেটিক অ্যাসিডে অদ্রাব্য।

(2) লঘু H_2SO_4 মিশ্রিত $KMnO_4$ দ্রবণে অক্সালিক অ্যাসিড যোগ করলে $KMnO_4$-এর বেগুনি বর্ণ বর্ণহীন হয়।

● **অক্সালিক অ্যাসিডের ব্যবহার ঃ (i)** কাপড়ে মরিচার দাগ এবং লোহার দাগ দূরীকরণে ব্যবহৃত হয়। **(ii)** ধাতু পালিশের কাজে, কালি প্রস্তুতে এবং মুদ্রণ শিল্পে ব্যবহৃত হয়। **(iii)** পটাশিয়াম ফেরাস অক্সালেট ফটোগ্রাফিতে ব্যবহৃত হয়। **(iv)** ফর্মিক অ্যাসিড, অ্যালাইল অ্যালকোহল ইত্যাদি প্রস্তুতে ব্যবহৃত হয়। **(v)** চর্মশিল্পে এবং রঞ্জন শিল্পে এর ব্যবহার দেখা যায়। **(vi)** আয়তন মাত্রিক বিশ্লেষণে মুখ্য প্রমাণ দ্রবণ হিসাবে অক্সালিক অ্যাসিড ব্যবহৃত হয়।

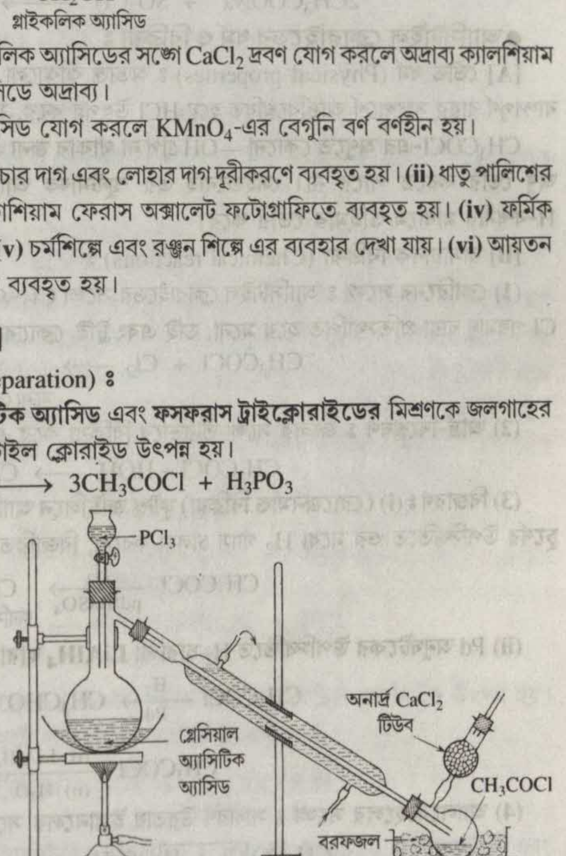
5.12. অ্যাসিটাইল ক্লোরাইড [Acetyl Chloride]

(1) পরীক্ষাগার প্রস্তুতি (Laboratory method of preparation) ঃ

(A) নীতি (Principle) ঃ পরীক্ষাগারে **গ্লেসিয়াল অ্যাসিটিক অ্যাসিড** এবং **ফসফরাস ট্রাইক্লোরাইডের** মিশ্রণকে জলগাহের উপর বসিয়ে (40ºC—50ºC) উষ্ণতায় উত্তপ্ত করলে অ্যাসিটাইল ক্লোরাইড উৎপন্ন হয়।

$$3CH_3COOH + PCl_3 \longrightarrow 3CH_3COCl + H_3PO_3$$

(B) পদ্ধতি (Method) ঃ বিন্দুপাতী ফানেল যুক্ত একটি পাতন ফ্লাস্কের মধ্যে গ্লেসিয়াল অ্যাসিটিক অ্যাসিড নিয়ে ফ্লাস্কটিকে ক্ল্যাম্পের সাহায্যে একটি স্ট্যান্ডের সঙ্গে আটকে ত্রিপদ স্ট্যান্ডে রাখা জলগাহের উপর বসিয়ে রাখা হয়। পাতন ফ্লাস্কের পার্শ্বনলের সঙ্গে একটি লিবিগ শীতক যোগ করে শীতকটির অপর প্রান্তটি একটি গ্রাহক ফ্লাস্কের মধ্যে, কর্কের মধ্য দিয়ে প্রবেশ করানো থাকে। গ্রাহক ফ্লাস্কটির পার্শ্বনলে অনার্দ্র $CaCl_2$ পূর্ণ গার্ড টিউব (Guard tube) যুক্ত করা থাকে, যেন গ্রাহক ফ্লাস্কটির মধ্যে বায়ুর জলীয় বাষ্প প্রবেশ করতে না পারে। গ্রাহক ফ্লাস্কটিকে বরফ জলের উপর রেখে ঠান্ডা করা হয় এবং লিবিগ শীতকের মধ্য দিয়ে বরফগলা জলের প্রবাহ চালনা করা হয়।



চিত্র 5.7 ঃ অ্যাসিটাইল ক্লোরাইড প্রস্তুতি

এইবার বিন্দুপাতী ফানেল থেকে ফসফরাস ট্রাইক্লোরাইড একটু একটু করে ফ্লাস্কের গ্লেসিয়াল অ্যাসিটিক অ্যাসিডের সঙ্গে যোগ করা হয়। এই সময় বার্নার দ্বারা উত্তপ্ত করে জলগাহের উষ্ণতা (40ºC—50ºC)-এ রাখা হয়। কিছুক্ষণ এই উষ্ণতায় থাকলে বিক্রিয়াটি সম্পূর্ণ হয়। বিক্রিয়ার ফলে অ্যাসিটাইল ক্লোরাইড উৎপন্ন হয়। বিক্রিয়া শেষে মিশ্রণটিকে জলগাহের ফুটন্ত জলে উত্তপ্ত করে পাতিত করলে অ্যাসিটাইল ক্লোরাইড বাষ্পীভূত হয়ে লিবিগ শীতকের মধ্য দিয়ে যাওয়ার সময় শীতল ও ঘনীভূত হয়ে গ্রাহক পাত্রে সঞ্চিত হয়। এইভাবে প্রাপ্ত অ্যাসিটাইল ক্লোরাইডকে আবার পাতিত করে বিশুদ্ধ করা হয়।

(2) গ্লেসিয়াল অ্যাসিটিক অ্যাসিডের সঙ্গে ফসফরাস পেন্টাক্লোরাইড বা থায়োনিল ক্লোরাইড ($SOCl_2$) বিক্রিয়া দ্বারাও কার্বক্সিল মূলকের —OH গ্রুপটি Cl পরমাণু দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে অ্যাসিটাইল ক্লোরাইড উৎপন্ন হয়।

$$CH_3COOH + PCl_5 \longrightarrow CH_3COCl + POCl_2 + HCl$$
$$CH_3COOH + SOCl_2 \longrightarrow CH_3COCl + SO_2 + HCl$$

(3) শিল্প প্রস্তুতি (Industrial preparation) : অ্যাসিটাইল ক্লোরাইডের পণ্যোৎপাদনে অ্যাসিডের পরিবর্তে ক্যালশিয়াম অ্যাসিটেট বা সোডিয়াম অ্যাসিটেট ব্যবহার করা হয়।

ক্যালশিয়াম বা সোডিয়াম অ্যাসিটেটকে সালফিউরিল ক্লোরাইডের সঙ্গে মিশিয়ে পাতন করে অ্যাসিটাইল ক্লোরাইড উৎপন্ন করা হয়।

$$(CH_3COO)_2Ca + SO_2Cl_2 \xrightarrow{80°C} 2CH_3COCl + CaSO_4$$
$$2CH_3COONa + SO_2Cl_2 \xrightarrow{80°C} 2CH_3COCl + Na_2SO_4$$

● **অ্যাসিটাইল ক্লোরাইডের ধর্ম ও বিক্রিয়া :**

[A] ভৌত ধর্ম (Physical properties) : অত্যন্ত ঝাঁঝালো গন্ধবিশিষ্ট উদ্‌বায়ী বর্ণহীন তরল। স্ফুটনাঙ্ক 52°C। জলীয় বাষ্পপূর্ণ বায়ুর সংস্পর্শে আর্দ্রবিশ্লেষিত হয়ে HCl উৎপন্ন করে, যার ফলে ধোঁয়া উৎপন্ন হয়।

CH_3COCl-এর অণুতে কোনো —OH গ্রুপ না থাকার জন্য এই যৌগ পরস্পরের সঙ্গে H বন্ধন দ্বারা যুক্ত হয়ে অতিকায় অণু তৈরি করতে পারে না। সেইজন্যেই এর স্ফুটনাঙ্ক অ্যাসিটিক অ্যাসিডের চেয়ে অনেক কম। CH_3COOH-এর H-বন্ধনীর মাধ্যমে ডাইমার তৈরি করে।

[B] রাসায়নিক বিক্রিয়া (Chemical reactions) :

(1) ক্লোরিনের সঙ্গে : অ্যাসিটাইল ক্লোরাইডের সঙ্গে Cl_2-এর বিক্রিয়া ঘটে, মিথাইল মূলকের এক বা একাধিক H পরমাণু Cl পরমাণু দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে **মনো, ডাই এবং ট্রাই ক্লোরো যৌগ** উৎপন্ন করে।

$$CH_3COCl + Cl_2 \longrightarrow \underset{\text{মনো ক্লোরো অ্যাসিটাইল ক্লোরাইড}}{CH_2ClCOCl} + HCl$$

(2) আর্দ্র-বিশ্লেষণ : জলের সঙ্গে তীব্রভাবে বিক্রিয়া করে এবং আর্দ্র-বিশ্লেষিত হয়ে **অ্যাসিটিক অ্যাসিডে** পরিণত হয়।

$$CH_3COCl + HOH \longrightarrow CH_3COOH + HCl$$

(3) বিজারণ : (i) (রোজেনমান্ড বিক্রিয়া) ফুটন্ত জাইলিনে অ্যাসিটাইল ক্লোরাইড দ্রবীভূত করে $BaSO_4$-এ রাখা প্যালাডিয়াম চূর্ণের উপস্থিতিতে ওর মধ্যে H_2 গ্যাস চালনা করলে, বিজারিত হয়ে **অ্যাসিট্যালডিহাইডে** পরিণত হয়।

$$CH_3COCl \xrightarrow[pd/BaSO_4]{H_2} \underset{\text{অ্যাসিট্যালডিহাইড}}{CH_3CHO} + HCl$$

(ii) Pd অনুঘটকের উপস্থিতিতে H_2 দ্বারা বা $LiAlH_4$ দ্বারা বিজারিত হয়ে অ্যাসিটাইল ক্লোরাইড **ইথানলে** পরিণত হয়।

$$CH_3COCl \xrightarrow[Pd]{H_2} CH_3CHO \xrightarrow[Pd]{H_2} \underset{\text{ইথানল}}{CH_3CH_2OH}$$
$$CH_3COCl \xrightarrow[\text{(ii) } H_2O]{\text{(i) } LiAlH_4} CH_3CH_2OH$$

(4) অ্যালকোহলের সঙ্গে : সাধারণ উষ্ণতায় **ইথানলের** সঙ্গে বিক্রিয়ায় **ইথাইল অ্যাসিটেট** নামে এস্টার উৎপন্ন করে।

$$CH_3CO\boxed{Cl + H}\underset{\text{ইথানল}}{OC_2H_5} \longrightarrow \underset{\text{ইথাইল অ্যাসিটেট}}{CH_3COOC_2H_5} + HCl$$

(5) অ্যামোনিয়ার সঙ্গে (অ্যামোনোলিসিস) : অ্যামোনিয়ার গাঢ় দ্রবণের সঙ্গে বিক্রিয়ায় **অ্যাসিটামাইড** উৎপন্ন করে।

$$CH_3CO\boxed{Cl + H}\underset{\text{অ্যামোনিয়া}}{H_2N} \longrightarrow \underset{\text{অ্যাসিটামাইড}}{CH_3CONH_2} + HCl$$

(6) অ্যামিনের সঙ্গে : (i) অ্যানিলিনের সঙ্গে বিক্রিয়ায় অ্যাসিটানিলাইড উৎপন্ন করে।

$$CH_3CO\boxed{Cl + H}\underset{\text{অ্যানিলিন}}{HNC_6H_5} \longrightarrow \underset{\text{অ্যাসিটানিলাইড}}{CH_3CONHC_6H_5} + HCl$$

(ii) মিথাইল অ্যামিনের সঙ্গে বিক্রিয়ায় N মিথাইল অ্যাসিটামাইড উৎপন্ন হয়।

$$CH_3CO\boxed{Cl + H}HNCH_3 \longrightarrow CH_3CONHCH_3 + HCl$$

মিথাইল অ্যামিন, N-মিথাইল অ্যাসিটামাইড

ডাইমিথাইল অ্যামিনের সঙ্গে বিক্রিয়ায় N, N-ডাই মিথাইল অ্যাসিটামাইড উৎপন্ন হয়।

$$CH_3COCl + HN(CH_3)_2 \longrightarrow CH_3CON(CH_3)_2 + HCl$$

ডাই মিথাইল অ্যামিন, N, N-ডাই মিথাইল অ্যাসিটামাইড

(7) সোডিয়াম অ্যাসিটেটের সঙ্গে বিক্রিয়ায় **অ্যাসিটিক অ্যানহাইড্রাইড** উৎপন্ন হয়।

$$CH_3COCl + CH_3COONa \longrightarrow (CH_3CO)_2O + NaCl$$

অ্যাসিটিক অ্যানহাইড্রাইড

(8) গ্রিগনার্ড বিকারকের সঙ্গে বিক্রিয়ায় **কিটোন ও টারসিয়ারি** অ্যালকোহল উৎপন্ন হয়।

$$CH_3COCl \xrightarrow[\text{শুষ্ক ইথার}]{CH_3MgI} (CH_3)_2C(OMgI)Cl \xrightarrow{CH_3MgI} (CH_3)_3COMgI + Mg\begin{matrix} I \\ Cl \end{matrix}$$

$$(CH_3)_2C(OMgI)Cl \xrightarrow{H_3O^+} (CH_3)_2C{=}O + Mg(I)Cl$$

$$(CH_3)_3COMgI \xrightarrow{H_2O/NH_4Cl} (CH_3)_3COH$$

(9) ফ্রিডাল ক্রাফট বিক্রিয়া ঃ অনার্দ্র $AlCl_3$-এর উপস্থিতিতে বেনজিনের সঙ্গে বেনজিনের H পরমাণু অ্যাসিটাইল মূলক দ্বারা প্রতিস্থাপিত **অ্যাসিটোফেনোন** উৎপন্ন হয়।

$$C_6H_6 + CH_3COCl \xrightarrow{AlCl_3} C_6H_5COCH_3 + HCl$$

বেনজিন, অ্যাসিটোফেনোন

(10) অ্যাসিটাইলেশন বিক্রিয়া ঃ —OH বা —NH_2 মূলকযুক্ত যে-কোনো জৈব যৌগের সঙ্গে **অ্যাসিটাইল ক্লোরাইডের** বিক্রিয়ায় —OH বা —NH_2 মূলকের H পরমাণুটি **অ্যাসিটাইল** (—CH_3CO) মূলক দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে বিভিন্ন যৌগ উৎপন্ন করে। এই রকম বিক্রিয়াকে অ্যাসিটাইলেশন বিক্রিয়া বলে। এই বিক্রিয়ার দ্বারা কোনো জৈব যৌগে —OH মূলকের উপস্থিতি এবং —OH মূলকের সংখ্যা নির্ণয় করা যায়। সাধারণভাবে এই পদ্ধতিকে অ্যাসাইলেশনও বলে, কারণ এই বিক্রিয়ায় অ্যাসাইল গ্রুপ (RCO—) প্রবেশ করানো হয়। **অ্যালকোহল, ফেনল, অ্যামিনো যৌগ অ্যাসিটাইলেশন বিক্রিয়ায় অংশ নেয়।**

$$CH_3CO\boxed{Cl + H}OC_2H_5 \longrightarrow CH_3COOC_2H_5 + HCl$$

ইথানল, ইথাইল অ্যাসিটেট

$$CH_3CO\boxed{Cl + H}OC_6H_5 \longrightarrow CH_3COOC_6H_5 + HCl$$

ফেনল, ফিনাইল অ্যাসিটেট

$$CH_3CO\boxed{Cl + H}HNC_6H_5 \longrightarrow CH_3CONHC_6H_5 + HCl$$

অ্যানিলিন, অ্যাসিট্যানিলাইড

(11) KCN সঙ্গে বিক্রিয়া ঃ অ্যাসিটাইল ক্লোরাইডের সঙ্গে KCN-এর বিক্রিয়া ঘটে **অ্যাসিটাইল সায়ানাইড** উৎপন্ন হয়। লঘু অ্যাসিড দ্বারা **অ্যাসিটাইল সায়ানাইডের আর্দ্র-বিশ্লেষণ ঘটে পাইরুভিক অ্যাসিড** উৎপন্ন হয়।

$$CH_3COCl + KCN \longrightarrow CH_3COCN \xrightarrow{H^+/H_2O} CH_3COCOOH$$

পাইরুভিক অ্যাসিড

(12) হাইড্রাজিন এবং হাইড্রক্সিল অ্যামিনের সঙ্গে অ্যাসিটাইল ক্লোরাইডের বিক্রিয়ায় যথাক্রমে **হাইড্রাজাইড** এবং **হাইড্রক্সামিক** অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।

$$CH_3CO\boxed{Cl + H}HN{-}NH_2 \longrightarrow CH_3CONHNH_2 + HCl$$

হাইড্রাজিন, হাইড্রাজাইড

$$CH_3CO\boxed{Cl + H}HNOH \longrightarrow CH_3CONHOH + HCl$$

হাইড্রক্সিল অ্যামিন, হাইড্রক্সামিক অ্যাসিড

(13) আর্নড-ইস্টার্ট সংশ্লেষণ (Arndt-Eistert synthesis) ঃ এই বিক্রিয়া দ্বারা কোনো কার্বক্সিলিক অ্যাসিডকে তার উচ্চতর সমগণে রূপান্তরিত করা যায়। অ্যাসিডের সঙ্গে PCl_5-এর বিক্রিয়ায় উৎপন্ন অ্যাসিড ক্লোরাইডের সঙ্গে দুই তুল্যাঙ্ক পরিমাণ

ডায়াজোমিথেনের বিক্রিয়া ঘটালে ডায়াজোকিটোন উৎপন্ন হয়। ডায়াজোকিটোনের সঙ্গে Ag_2O অনুঘটক ও জলের বিক্রিয়ায় উচ্চতর কার্বক্সিলিক অ্যাসিড পাওয়া যায়।

$$RCOOH \xrightarrow{PCl_5} RCOCl \xrightarrow{CH_2N_2} RCOCHN_2 \xrightarrow[(2)\ H_2O]{(1)\ Ag_2O} RCH_2COOH$$

●**অ্যাসিটাইল ক্লোরাইডের ব্যবহার ঃ (i)** জৈব যৌগে অ্যাসিটাইল মূলক প্রবেশ করানোর জন্য (অ্যাসিটাইলেশন ও ফ্রিডাল ক্রাফট বিক্রিয়ায়), **(ii)** জৈব যৌগে OH গ্রুপের উপস্থিতি ও সংখ্যা নির্ণয়ের জন্য, **(iii)** অ্যাসিট্যানিলাইড, অ্যাসিটিক অ্যানহাইড্রাইড প্রস্তুতির জন্য অ্যাসিটাইল ক্লোরাইড ব্যবহৃত হয়।

5.13. অ্যাসিটিক অ্যানহাইড্রাইড [Acetic Anhydride $CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-O-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-CH_3$]

●**অ্যাসিটিক অ্যানহাইড্রাইড প্রস্তুতি** (Preparation of Acetic Anhydride) ঃ

(1) পরীক্ষাগার পদ্ধতি (Laboratory Method) ঃ

(A) নীতি ঃ পরীক্ষাগারে অনার্দ্র অ্যাসিটাইল ক্লোরাইড এবং গলিত সোডিয়াম অ্যাসিটেটের মিশ্রণকে তাপ প্রয়োগে পাতিত করে অ্যাসিটিক অ্যানহাইড্রাইড উৎপন্ন করা হয়।

$$CH_3COCl + CH_3COONa \longrightarrow CH_3CO-O-COCH_3 + NaCl$$

(B) পদ্ধতি (Method) ঃ বিন্দুপাতী ফানেল ও লিবিগ শীতকযুক্ত একটি পাতন ফ্লাস্কে **অনার্দ্র সোডিয়াম অ্যাসিটেট** নেওয়া হয়। বিন্দুপাতী **ফানেলে অ্যাসিটাইল ক্লোরাইড** নেওয়া হয়। শীতকটির শেষ প্রান্তে একটি গ্রাহক ফ্লাস্ক যুক্ত থাকে। গ্রাহক ফ্লাস্কটির পার্শ্বনলে একটি $CaCl_2$ পূর্ণ গার্ডটিউব যুক্ত থাকে যেন বায়ুর জলীয় বাষ্প গ্রাহক ফ্লাস্কে প্রবেশ করতে না পারে।

প্রথমে বিন্দুপাতী ফানেল থেকে অ্যাসিটাইল ক্লোরাইড ধীরে ধীরে পাতন ফ্লাস্কের মধ্যে রাখা সোডিয়াম অ্যাসিটেটের সঙ্গে যোগ করা হয়। বিক্রিয়ার ফলে ফ্লাস্কটি যখন গরম হয়ে ওঠে, তখন **মাঝে মাঝে ঠান্ডা জল দিয়ে শীতল রাখা হয়।** প্রতিবার অ্যাসিটাইল ক্লোরাইড মেশাবার পর, মিশ্রণটিকে ঝাঁকিয়ে ভাল করে মেশানো হয়। সমস্ত অ্যাসিটাইল ক্লোরাইড মেশানো হলে পর, ফ্লাস্কটিকে উত্তপ্ত করা হয়। 135°C—140°C উষ্ণতায় অ্যাসিটিক অ্যানাহাইড্রাইড পাতিত হয়ে গ্রাহক ফ্লাস্কে জমা হয়। এইভাবে প্রাপ্ত অ্যাসিটিক অ্যানহাইড্রাইডকে আবার পাতিত করে বিশুদ্ধ করা হয়।

(2) শিল্প প্রস্তুতি (Industrial preparation) ঃ **অনুঘটক হিসাবে Hg^{2+} আয়নের উপস্থিতিতে 70°C—80°C উষ্ণতায় গ্লেসিয়াল অ্যাসিটিক অ্যাসিডের মধ্যে অ্যাসিটিলিন গ্যাস চালনা করলে ইথিলিডিন অ্যাসিটেট নামে একটি যৌগ উৎপন্ন হয়। এইভাবে উৎপন্ন ইথিলিডিন অ্যাসিটেটকে পাতিত করলে অ্যাসিটিক অ্যানহাইড্রাইড এবং অ্যাসিট্যালডিহাইডে পরিণত হয়।** আংশিক পাতন করে অ্যাসেটিক অ্যানহাইড্রাইড পৃথক করা হয়।

$$\underset{\text{অ্যাসিটিলিন}}{HC\equiv CH} + \underset{\text{অ্যাসিটিক অ্যাসিড}}{\begin{matrix} HOOC\,CH_3 \\ HOOC\,CH_3 \end{matrix}} \xrightarrow[70-80^{\circ}C]{Hg^{2+}} \underset{\text{ইথিলিডিন অ্যাসিটেট}}{CH_3CH\begin{matrix} OOCCH_3 \\ OOCCH_3 \end{matrix}} \xrightarrow{\text{পাতন}} \underset{\text{অ্যাসেটিক অ্যানহাইড্রাইড}}{\begin{matrix} CH_3CO \\ CH_3CO \end{matrix}O} + CH_3CHO$$

●**অ্যাসিটিক অ্যানহাইড্রাইডের ধর্ম ও বিক্রিয়া ঃ**

[A] ভৌত ধর্ম (Physical properties) ঃ অ্যাসিটিক অ্যানহাইড্রাইড বর্ণহীন তীব্র ঝাঁঝালো গন্ধযুক্ত তরল পদার্থ। স্ফুটনাঙ্ক 139°C, জলে সামান্য দ্রাব্য, ইথার, অ্যাসিটোন ও বেঞ্জিনে দ্রাব্য।

[B] রাসায়নিক বিক্রিয়া (Chemical Reactions) ঃ

(1) আর্দ্রবিশ্লেষণ ঃ জলের সঙ্গে ঠান্ডা অবস্থায় ধীরে ধীরে এবং উত্তপ্ত অবস্থায় দ্রুত আর্দ্রবিশ্লেষিত হয়ে অ্যাসিটিক অ্যাসিডে পরিণত হয়।

$$CH_3COOCOCH_3 + H_2O \longrightarrow \underset{\text{অ্যাসিটিক অ্যাসিড}}{2CH_3COOH}$$

(2) অ্যালকোহলের সঙ্গে অ্যাসিটিক অ্যানহাইড্রাইডকে উত্তপ্ত করলে ইথাইল অ্যাসিটেট ও অ্যাসিটিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।

$$(CH_3CO)_2O + C_2H_5OH \longrightarrow \underset{\text{ইথাইল অ্যাসিটেট}}{CH_3COOC_2H_5} + CH_3COOH$$

(3) অ্যাসিটাইলেশন ঃ $-OH$, $-NH_2$, $-NHR$ গ্রুপ বিশিষ্ট যৌগের সঙ্গে অ্যাসিটিক অ্যানহাইড্রাইডের বিক্রিয়ায়, অ্যাসিটাইল

যৌগ উৎপন্ন হয়। **অ্যালকোহল, ফেনল** এবং **অ্যামিনের** সঙ্গো বিক্রিয়ায় যৌগগুলির O বা N পরমাণুর সঙ্গো যুক্ত H পরমাণুটি CH_3CO গ্রুপ দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়।

অ্যাসিটাইলেশন বিক্রিয়ায় CH_3COCl-এর চেয়ে **অ্যাসিটিক অ্যানহাইড্রাইড বেশি কার্যকর,** কারণ জলীয় বাষ্প একে সহজে আর্দ্র বিশ্লেষিত করতে পারে না।

$$\underset{\text{ফেনল}}{C_6H_5OH} + CH_3COOCOCH_3 \rightarrow \underset{\text{ফিনাইল অ্যাসিটেট}}{C_6H_5OCOCH_3} + CH_3COOH$$

$$C_6H_5NH_2 + CH_3COOCOCH_3 \rightarrow \underset{\text{অ্যাসিট্যানিলাইড}}{C_6H_5NHCOCH_3} + CH_3COOH$$

(4) অ্যামোনিয়ার সঙ্গো ঃ সাধারণ তাপমাত্রায় গাঢ় অ্যামোনিয়া দ্রবণের সঙ্গো বিক্রিয়া করে **অ্যাসিট্যামাইড ও অ্যামোনিয়াম অ্যাসিটেট** উৎপন্ন করে।

$$(CH_3CO)_2O + 2NH_3 \longrightarrow \underset{\text{অ্যাসিট্যামাইড}}{CH_3CONH_2} + \underset{\text{অ্যামোনিয়াম অ্যাসিটেট}}{CH_3COONH_4}$$

(5) PCl_5-এর সঙ্গো বিক্রিয়ায় **অ্যাসিটাইল ক্লোরাইড** উৎপন্ন হয়।

$$(CH_3CO)_2O + PCl_5 \longrightarrow 2CH_3COCl + POCl_3$$

(6) বিজারণ ঃ (i) মৃদু বিজারক সোডিয়াম অ্যামালগাম অ্যাসিটিক অ্যানহাইড্রাইডকে বিজারিত করে **অ্যালডিহাইড** উৎপন্ন করে।

$$(CH_3CO)_2O \xrightarrow[\text{[4H]}]{\text{Na-Hg}} 2CH_3CHO + H_2O$$

(ii) তীব্র বিজারক $LiAlH_4$ দ্বারা বিজারিত হয়ে **ইথানলে** পরিণত হয়।

$$(CH_3CO)_2O \xrightarrow[\text{[8H]}]{LiAlH_4} 2CH_3CH_2OH + H_2O$$

(7) ফ্রিডাল-ক্রাফট অ্যাসাইলেশন ঃ অনার্দ্র $AlCl_3$-এর উপস্থিতিতে বেনজিনের সঙ্গো অ্যাসিটিক অ্যানহাইড্রাইডের বিক্রিয়ায় **মিথাইল ফিনাইল কিটোন বা অ্যাসিটোফেনোন** উৎপন্ন হয়।

$$\underset{\text{বেনজিন}}{C_6H_6} + (CH_3CO)_2O \xrightarrow{\text{অনার্দ্র } AlCl_3} \underset{\text{অ্যাসিটোফেনোন}}{C_6H_5COCH_3} + CH_3COOH$$

● **অ্যাসিটিক অ্যানহাইড্রাইডের ব্যবহার ঃ** অ্যাস্‌পিরিন, রেয়ন, বার্নিশ, সেলুলোজ অ্যাসিটেট প্রভৃতি প্রস্তুতিতে অ্যাসিটিক অ্যানহাইড্রাইড ব্যবহৃত হয়। জৈব সংশ্লেষণে অ্যাসিটাইলেশন করতে এর ব্যাপক ব্যবহার হয়।

5.14. অ্যাসিট্যামাইড [Acetamide (CH_3CONH_2)]

● **অ্যাসিট্যামাইড প্রস্তুতি ঃ (1) পরীক্ষাগার পদ্ধতি** (Laboratory method) ঃ

(A) নীতি ঃ পরীক্ষাগারে বিশুদ্ধ ও শুষ্ক অ্যামোনিয়াম অ্যাসিটেটকে অতিরিক্ত গ্লেসিয়াল অ্যাসিটিক অ্যাসিড সহ পাতিত করে অ্যাসিট্যামাইড প্রস্তুত করা হয়। উত্তাপের ফলে অ্যামোনিয়াম অ্যাসিটেটের নিরুদনের ফলে অ্যাসিট্যামাইড উৎপন্ন হয়।

$$\underset{\text{অ্যামোনিয়াম অ্যাসিটেট}}{CH_3COONH_4} \xrightarrow[CH_3COOH]{\Delta} \underset{\text{অ্যাসিট্যামাইড}}{CH_3CONH_2} + H_2O$$

বিক্রিয়াটি উভমুখী তাই উৎপন্ন জলকে সঙ্গো সঙ্গো বাষ্পরূপে অপসারিত করলে সম্মুখ বিক্রিয়া ঘটে, ফলে অ্যাসিট্যামাইডের উৎপাদন বাড়ে। রিফ্লাক্স করলে জল বাষ্পরূপে বেরিয়ে যায় ফলে বিক্রিয়াটি সম্মুখদিকে ঘটতে থাকে। শুধু CH_3COONH_4-কে উত্তপ্ত করলে, অ্যামোনিয়াম অ্যাসিটেট বিয়োজিত হয়ে CH_3COOH এবং NH_3-তে পরিণত হওয়ার প্রবণতা দেখা যায়।

$$CH_3COONH_4 \rightleftharpoons CH_3COOH + NH_3$$

এই বিয়োজন বন্ধ করার জন্য গ্লেসিয়াল অ্যাসিটিক অ্যাসিড অ্যামোনিয়াম অ্যাসিটেটের সঙ্গো যোগ করা হয়। অ্যাসিট্যামাইড প্রস্তুতিতে পাতন করার সময় জল শীতক ব্যবহার করা হয় না—সর্বদা বায়ু শীতক ব্যবহার করা হয়। এর কারণ জল শীতক ব্যবহার করলে শীতকের মধ্যে উৎপন্ন অ্যাসিট্যামাইড কঠিন অবস্থায় জমে যায় ফলে শীতকের খোলা পথ বন্ধ হয়ে যায়।

(B) পদ্ধতি ঃ (i) প্রথমে লম্বা কাচনল যুক্ত (বায়ুশীতক) একটি গোলতল ফ্লাস্কের মধ্যে বিশুদ্ধ অ্যামোনিয়াম অ্যাসিটেট এবং অতিরিক্ত গ্লেসিয়াল অ্যাসিটিক অ্যাসিড নিয়ে, মিশ্রণটিকে কয়েক ঘন্টা ধরে উত্তপ্ত করা হয়। বিক্রিয়ার ফলে উৎপন্ন জল লম্বা নলটির মধ্য দিয়ে বাষ্পাকারে বেরিয়ে যায়।

(ii) সমস্ত জল বেরিয়ে গেলে পর উৎপন্ন পদার্থকে গরম অবস্থাতেই একটি পাতন ফ্লাস্কের মধ্যে নেওয়া হয়। পাতন ফ্লাস্কটির পার্শ্বনলের সঙ্গে একটি শীতক যুক্ত করা হয়। শীতকের অপর প্রান্তটি একটি গ্রাহক ফ্লাস্কের মধ্যে প্রবেশ করানো থাকে। এইবার পাতন ফ্লাস্কের মিশ্রণটিকে উত্তপ্ত করে পাতন করা হয়। 260°C তাপমাত্রায় পাতিত অংশকে সংগ্রহ করা হয়। একে ঠান্ডা করলে কঠিন অ্যাসিট্যামাইড পাওয়া যায়। অ্যালকোহল দ্রবণ থেকে কেলাসিত করে বিশুদ্ধ করা হয়।

(2) সাধারণ উষ্ণতায় অ্যাসিটাইল ক্লোরাইড কিংবা অ্যাসিটিক অ্যানহাইড্রাইড অথবা ইথাইল অ্যাসিটেটের সঙ্গে অ্যামোনিয়ার গাঢ় লবণের বিক্রিয়া দ্বারা অ্যাসিট্যামাইড উৎপন্ন করা হয়।

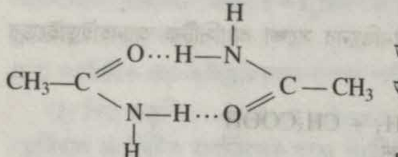
(i) $$\underset{\text{অ্যাসিটাইল ক্লোরাইড}}{CH_3CO\boxed{Cl + H}H_2N} \longrightarrow \underset{\text{অ্যাসিট্যামাইড}}{CH_3CONH_2} + HCl$$

(ii) $$\underset{\text{অ্যাসিটিক অ্যানহাইড্রাইড}}{(CH_3CO)_2O} + 2NH_3 \longrightarrow CH_3CONH_2 + CH_3COONH_4$$

(iii) $$\underset{\text{ইথাইল অ্যাসিটেট}}{CH_3COOC_2H_5} + NH_3 \longrightarrow CH_3CONH_2 + C_2H_5OH$$

● অ্যাসিট্যামাইডের ধর্ম ও বিক্রিয়া ঃ

[A] ভৌত ধর্ম ঃ (i) অ্যাসিট্যামাইড বর্ণহীন, উদ্‌গ্রাহী, কঠিন কেলাসিত পদার্থ, **(ii)** গলনাঙ্ক 82°C, স্ফুটনাঙ্ক 223°C, **(iii)** জলে দ্রাব্য, জলীয় দ্রবণ লিটমাসের রং পরিবর্তন করতে পারে না, **(iv)** অ্যালকোহল এবং ইথারে দ্রাব্য।



অ্যাসিট্যামাইডের দুটি অণু হাইড্রোজেন বন্ধন দ্বারা পরস্পর যুক্ত হয়ে ডাইমার অণুরূপে অবস্থান করে। তাই অনুরূপ আণবিক ওজন বিশিষ্ট অ্যামিনের চেয়ে অ্যাসিট্যামাইডের গলনাঙ্ক এবং স্ফুটনাঙ্ক বেশি।

[B] রাসায়নিক বিক্রিয়া ঃ অ্যাসিট্যামাইডের রাসায়নিক ধর্ম নির্ভর করে [—$CONH_2$] গ্রুপের উপর। এই কার্যকরী গ্রুপকে **অ্যামিডো গ্রুপ** বলে। এই মূলকটির মধ্যে কার্বনিল $>C=O$ এবং **অ্যামিনো** —NH_2 গ্রুপ থাকলেও অ্যাসিট্যামাইডের মধ্যে ওই গ্রুপগুলির বৈশিষ্ট্যপূর্ণ বিক্রিয়াগুলি প্রকাশ পায় না। যেমন, $>C=O$ গ্রুপের বৈশিষ্ট্য হল যুত বিক্রিয়ায় অংশ নেওয়া এবং অক্সিম, হাইড্রাজোন, ফিনাইল হাইড্রাজোন ইত্যাদি গঠন করা। কিন্তু অ্যাসিট্যামাইড এইসব যৌগ উৎপন্ন করে না। আবার —NH_2 মূলক কার্বিল অ্যামিন বিক্রিয়ায় সাড়া দেয়—কিন্তু অ্যাসিট্যামাইড এই বিক্রিয়ায় সাড়া দেয় না।

(1) হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়ায় হাইড্রোক্লোরাইড যৌগ উৎপন্ন হয়।

$$CH_3CONH_2 + HCl \longrightarrow \underset{\text{অ্যাসিট্যামাইড হাইড্রোক্লোরাইড}}{CH_3CONH_2HCl}$$

(2) আর্দ্র-বিশ্লেষণ ঃ কস্টিক সোডা দ্রবণের সঙ্গে ফুটালে আর্দ্র-বিশ্লিষ্ট হয়ে **অ্যামোনিয়া** এবং **সোডিয়াম অ্যাসিটেট** উৎপন্ন হয়।

$$CH_3CONH_2 + NaOH \longrightarrow CH_3COONa + NH_3\uparrow$$

(3) অ্যাসিডের উপস্থিতিতে অ্যাসিট্যামাইডের আর্দ্র-বিশ্লেষণ ঘটে **অ্যাসিটিক অ্যাসিড** উৎপন্ন হয়।

$$CH_3CONH_2 + H_2O + HCl \longrightarrow CH_3COOH + NH_4Cl$$

(4) শীতল নাইট্রাস অ্যাসিড ($NaNO_2 + HCl$), **অ্যামাইডো গ্রুপকে** ($CONH_2$) **কার্বক্সিল গ্রুপে** (—COOH) **পরিণত করে** এবং নাইট্রোজেন বুদবুদের আকারে নির্গত হয়। **এই বিক্রিয়া দ্বারা অ্যাসিট্যামাইডকে শনাক্ত করা যায়।**

$$CH_3CONH_2 + HNO_2 \longrightarrow CH_3COOH + N_2\uparrow + H_2O$$

(5) বিজারণ ঃ সোডিয়াম ও অ্যালকোহল অথবা $LiAlH_4$ দ্বারা অ্যাসিট্যামাইডকে বিজারিত করলে **ইথাইল অ্যামিন** উৎপন্ন করে।

$$CH_3CONH_2 \xrightarrow[\text{Na/অ্যালকোহল}]{[4H]} \underset{\text{ইথাইল অ্যামিন}}{CH_3\text{-}CH_2\text{-}NH_2} + H_2O$$

(6) নিরুদন ঃ ফসফরাস পেন্টোক্সাইডের সঙ্গে উত্তপ্ত করলে **মিথাইল সায়ানাইড বা অ্যাসিটো-নাইট্রাইলে** পরিণত হয়।

$$CH_3CONH_2 + P_2O_5 \rightarrow \underset{\text{মিথাইল সায়ানাইড}}{CH_3C \equiv N} + 2HPO_3$$

(7) হফ্‌ম্যান ডিগ্রেডেশন বিক্রিয়া (Hofmann Degradation Reaction) ঃ অ্যাসিড অ্যামাইডের সঙ্গে ক্ষারীয় ব্রোমিন দ্রবণ মিশিয়ে উত্তপ্ত করলে প্রাইমারি অ্যামিন উৎপন্ন হয়। প্রত্যেক বিক্রিয়ায় দেখা যায় মূল অ্যামাইড থেকে উৎপন্ন অ্যামিনে একটি C পরমাণু কম থাকে। তাই এই বিক্রিয়াকে **হফ্‌ম্যান ডিগ্রেডেশন বিক্রিয়া** বলে। যেমন, অ্যাসিট্যামাইডকে ব্রোমিন ও কস্টিক পটাশ দ্রবণ সহ উত্তপ্ত করলে **মিথাইল অ্যামিন** উৎপন্ন হয়। বিক্রিয়াটি **ব্রোমিন ও কস্টিক সোডা অথবা হাইপোব্রোমাইট NaOBr বা KOBr** দ্বারা সম্পন্ন করা যায়।

$$RCONH_2 + Br_2 + 4KOH \longrightarrow RNH_2 + 2KBr + K_2CO_3 + H_2O$$

$$CH_3CONH_2 + Br_2 + 4KOH \longrightarrow \underset{\text{মিথাইল অ্যামিন}}{CH_3NH_2} + 2KBr + K_2CO_3 + H_2O$$

এই বিক্রিয়া দ্বারা অ্যামাইড যৌগ থেকে বিশুদ্ধ প্রাইমারি অ্যামিন প্রস্তুত করা যায় এবং কোনো কার্বন যৌগকে ওর চেয়ে কম সংখ্যক C পরমাণুবিশিষ্ট যৌগে পরিণত করা যায়।

● **অ্যাসিট্যামাইডের শনাক্তকরণ ঃ**

(i) অ্যাসিট্যামাইডকে **কস্টিক সোডা দ্রবণ** সহ ফোটালে ঝাঁঝালো গন্ধবিশিষ্ট অ্যামোনিয়া নির্গত হয়।

$$CH_3CONH_2 + NaOH \rightarrow CH_3COONa + NH_3\uparrow$$

(ii) অ্যাসিট্যামাইডকে নাইট্রাস অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়া করলে বর্ণহীন গন্ধহীন N_2 গ্যাস নির্গত হয়।

$$CH_3CONH_2 + HNO_2 \rightarrow CH_3COOH + N_2 + H_2O$$

● **অ্যাসিট্যামাইডের ব্যবহার ঃ**

(i) রঞ্জন শিল্পে, **(ii)** কীটনাশক ওষুধ প্রস্তুতিতে, **(iii)** প্লাস্টিক শিল্পে, **(iv)** দ্রাবকরূপে অ্যাসিট্যামাইড ব্যবহৃত হয়।

5.15. ইথাইল অ্যাসিটেট [Ethyl Acetate ($CH_3COOC_2H_5$)]

● **ইথাইল অ্যাসিটেটের প্রস্তুতি** (Preparation of Ethyl Acetate) ঃ

1. পরীক্ষাগার পদ্ধতি (Laboratory method) ঃ

(A) নীতি ঃ গাঢ় H_2SO_4-এর উপস্থিতিতে, **ইথাইল অ্যালকোহলের** সঙ্গে **গ্লেসিয়াল অ্যাসিটিক অ্যাসিডের** বিক্রিয়ায় ইথাইল অ্যাসিটেট উৎপন্ন হয়।

$$CH_3COOH + C_2H_5OH \xrightarrow{H_2SO_4} CH_3COOC_2H_5 + H_2O$$

(B) পদ্ধতি ঃ বিন্দুপাতী ফানেল ও থার্মোমিটার-যুক্ত একটি পাতন ফ্লাস্কের মধ্যে **সমআয়তনের ইথাইল অ্যালকোহল ও গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের মিশ্রণ নেওয়া হয়।** থার্মোমিটারের বাল্‌বটি মিশ্রণে ডোবানো থাকে। **বিন্দুপাতী ফানেলে ইথাইল অ্যালকোহল ও গ্লেসিয়াল অ্যাসিটিক অ্যাসিডের সমআয়তন মিশ্রণ নেওয়া হয়।** পাতন ফ্লাস্কের পার্শ্বনলের সঙ্গে একটি লিবিক শীতক যুক্ত করা হয়। শীতকের অপর প্রান্তটি একটি গ্রাহক ফ্লাস্কের মধ্যে প্রবেশ করানো থাকে।

ফ্লাস্কটিকে তৈলগাহে 140°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করা হয়। বিন্দুপাতী ফানেল থেকে অ্যালকোহল ও গ্লেসিয়াল অ্যাসিটিক অ্যাসিডের মিশ্রণ ফ্লাস্কে যোগ করা হয়। বিক্রিয়ার ফলে উৎপন্ন ইথাইল অ্যাসিটেট পাতিত হয়ে গ্রাহক ফ্লাস্কে শীতল ও ঘনীভূত হয়ে তরলরূপে জমা হয়। যে হারে পাতন হয়, সেই হারে বিন্দুপাতী ফানেল থেকে অ্যালকোহল ও অ্যাসিটিক অ্যাসিডের মিশ্রণ ফ্লাস্কে যোগ করা হয়।

(C) বিশুদ্ধিকরণ ঃ ইথাইল অ্যাসিটেট থেকে ইথানল, অ্যাসিটিক অ্যাসিড এবং জল অপসারণ করার উপায়—এইভাবে প্রাপ্ত ইথাইল অ্যাসিটেটের মধ্যে জল, অবিকৃত ইথাইল অ্যালকোহল, অ্যাসিটিক অ্যাসিড, সামান্য পরিমাণ সালফিউরিক অ্যাসিড ও ইথার উপস্থিত থাকে।

(i) বিক্রিয়ার শেষে গ্রাহক ফ্লাস্কে প্রাপ্ত ইথাইল অ্যাসিটেটকে বিয়োজী ফানেলে নিয়ে ওর সঙ্গে **সোডিয়াম কার্বনেট** দ্রবণ যোগ করে ঝাঁঝানো হয়। মিশ্রণটি দুটি স্তরে বিভক্ত হয়। উপরের স্তরটি ইথাইল অ্যাসিটেট এবং নীচেরটি অ্যাসিড ও অ্যালকোহলের জলীয় দ্রবণ। এই জলীয় দ্রবণটিকে ইথাইল অ্যাসিটেট থেকে পৃথক করা হয়।

(ii) এইভাবে প্রাপ্ত ইথাইল অ্যাসিটেটের মধ্যে **NaCl-এর গাঢ় দ্রবণ যোগ করে** আবার ঝাঁকানো হয়। এর ফলে অ্যালকোহল সম্পূর্ণভাবে দ্রবণে চলে আসে।

(iii) এই জলীয় দ্রবণটিকে পৃথক করে **ইথাইল অ্যাসিটেট** দ্রবণটিকে ভাল করে জল দিয়ে ধৌত করে একটি কনিক্যাল ফ্লাস্কে নিয়ে **অনার্দ্র ক্যালশিয়াম ক্লোরাইড দ্বারা শুষ্ক** করার পরে জলগাহে পাতিত করলে বিশুদ্ধ ইথাইল অ্যাসিটেট পাতিত হয়; 74°C—79°C তাপমাত্রায় পাতিত অংশ সংগ্রহ করা হয়।

(2) বর্তমানে শিল্প পদ্ধতিতে অ্যাসিট্যালডিহাইডকে অনার্দ্র কোনো জৈব দ্রাবকে দ্রবীভূত করে দ্রবীভূত অবস্থায় **অ্যালুমিনিয়াম ইথক্সাইডের** উপস্থিতিতে 40°C উষ্ণতায় ওই দ্রবণটিকে উত্তপ্ত করলে অ্যাসিট্যালডিহাইড থেকে এক ধাপে ইথাইল অ্যাসিটেট উৎপন্ন হয়। বিক্রিয়াটি **টিসেঙ্কো বিক্রিয়া** নামে পরিচিত।

$$2CH_3CHO \xrightarrow{Al(OC_2H_5)_3} CH_3COOC_2H_5$$

● ইথাইল অ্যাসিটেটের ধর্ম ও বিক্রিয়া ঃ

[A] ভৌত ধর্ম (Physical properties) ঃ ইথাইল অ্যাসিটেট সুমিষ্ট গন্ধযুক্ত প্রশম তরল পদার্থ। জলের চেয়ে হালকা, জলে কিছুটা দ্রাব্য, স্ফুটনাঙ্ক 77·5°C। অ্যালকোহল, ইথার প্রভৃতি জৈব দ্রাবকে খুব দ্রাব্য।

[B] রাসায়নিক বিক্রিয়া (Chemical reactions) ঃ

(1) আর্দ্র-বিশ্লেষণ ঃ ইথাইল অ্যাসিটেট ও অন্যান্য জৈব এস্টারের রাসায়নিক ধর্ম মোটামুটি একই রকম। জলে ধীরে ধীরে, কিন্তু **অ্যাসিড বা ক্ষারীয় দ্রবণে দ্রুত আর্দ্র-বিশ্লিষ্ট হয়ে** ইথাইল অ্যালকোহল এবং অ্যাসিটিক অ্যাসিডে পরিণত হয়।

$$CH_3COOC_2H_5 + H_2O \rightleftharpoons CH_3COOH + C_2H_5OH$$

$$CH_3COOC_2H_5 + NaOH \rightarrow CH_3COONa + C_2H_5OH$$

এস্টারের আর্দ্র-বিশ্লেষণ সাধারণত ক্ষারীয় দ্রবণ দ্বারা ঘটান হয়।

সাবানীভবন বিক্রিয়া (Saponification) ঃ উচ্চ আণবিক গুরুত্ব বিশিষ্ট ফ্যাটি অ্যাসিডের (যেমন, স্টিয়ারিক অ্যাসিড, ওলেয়িক অ্যাসিড প্রভৃতি) সঙ্গে ট্রাই হাইড্রিক অ্যালকোহলের (গ্লিসারল) এস্টারিভবনে তেল বা চর্বি উৎপন্ন হয়। সুতরাং চর্বি, তেল হল ওই অ্যাসিডগুলির গ্লিসারাইড এস্টার। এই গ্লিসারাইড এস্টার জাতীয় পদার্থের **ক্ষারীয় আর্দ্র-বিশ্লেষণে** ওই অ্যাসিডগুলি সোডিয়াম বা পটাশিয়াম লবণ অর্থাৎ **সাবান** এবং **গ্লিসারল** উৎপন্ন হয়। তাই এই বিক্রিয়াকে **সাবানীভবন** বা **স্যাপোনিফিকেশন** বলে।

(2) অ্যামোনিয়ার গাঢ় দ্রবণের সঙ্গে বিক্রিয়ায় অ্যাসিটামাইড এবং ইথাইল অ্যালকোহল উৎপন্ন হয়।

$$CH_3COOC_2H_5 + NH_3 \rightarrow CH_3CONH_2 + C_2H_5OH$$

(3) বুভো ও ব্লাঙ্ক বিক্রিয়া ঃ সোডিয়াম ও অ্যালকোহল দ্বারা এস্টার বিজারিত হয়ে প্রাইমারি অ্যালকোহলে পরিণত হয়, বিক্রিয়াটি বুভো ও ব্লাঙ্ক বিক্রিয়া নামে পরিচিত। ইথাইল অ্যাসিটেটকে **Na এবং অ্যালকোহলের সঙ্গে উত্তপ্ত করলে ইথাইল** অ্যাসিটেট বিজারিত হয়ে ইথাইল অ্যালকোহলে পরিণত হয়।

$$CH_3COOC_2H_5 + 4H \xrightarrow{\text{Na/অ্যালকোহল}} CH_3CH_2OH + C_2H_5OH$$

(4) ফসফরাস পেন্টা-ক্লোরাইডের সঙ্গে বিক্রিয়ায় ইথাইল অ্যাসিটেট **এক অণু অ্যাসিট্যাইল ক্লোরাইড ও এক অণু ইথাইল ক্লোরাইডে** পরিণত হয়। $CH_3COOC_2H_5 + PCl_5 \rightarrow CH_3COCl + C_2H_5Cl + POCl_3$

(5) ক্লেইসন কন্‌ডেনসেশন (Claisen condensation) ঃ যেসব এস্টারে α **(আলফা) হাইড্রোজেন পরমাণু আছে,** তাদের দুটি অণু, **তীব্র ক্ষার বা সোডিয়াম ইথক্সাইড** (C_2H_5ONa)-এর উপস্থিতিতে পরস্পর বিক্রিয়া করে β(বিটা) **কিটো এস্টার** উৎপন্ন

করে, এই বিক্রিয়াকে **ক্লেইসন কন্‌ডেনসেশন** বলে। দুই অণু ইথাইল অ্যাসিটেট থেকে এক অণু **ইথাইল অ্যাসিটো অ্যাসিটেট** উৎপন্ন হয়।

$$CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-\boxed{OC_2H_5 + H}\,CH_2-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-OC_2H_5 \xrightarrow{C_2H_5ONa} \underset{\text{ইথাইল অ্যাসিটোঅ্যাসিটেট}}{CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-CH_2-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-OC_2H_5} + C_2H_5OH$$

● ইথাইল অ্যাসিটেটের ব্যবহার ঃ

ইথাইল অ্যাসিটেট দ্রাবকরূপে ব্যবহৃত হয়। প্রাকৃতিক ও কৃত্রিম রঙের দ্রাবকরূপে সুগন্ধি হিসাবেও এর ব্যবহার আছে।

● নাইট্রো যৌগ ●

5.16. নাইট্রো অ্যালকেন [Nitro alkane]

নাইট্রো অ্যালকেনগুলির গঠন RNO_2। অ্যালকিল নাইট্রাইট (RONO) এবং নাইট্রো অ্যালকেন সমবায়ব।

● নাইট্রো অ্যালকেনের প্রস্তুতি (Preparation of nitro alkane) ঃ

(1) জলীয় ইথানল দ্রবণে প্রাইমারি অ্যালকিল হ্যালাইড ও **সিলভার নাইট্রাইট** মিশিয়ে উত্তপ্ত করলে প্রাইমারি নাইট্রো অ্যালকেন উৎপন্ন হয়।

$$R-X + AgONO \longrightarrow \underset{\text{নাইট্রো অ্যালকেন}}{RNO_2} + \underset{\text{অ্যালকিল নাইট্রাইট}}{RONO} + AgX$$

সোডিয়াম নাইট্রাইটের জলীয় দ্রবণ ও সোডিয়াম ক্লোরো অ্যাসিটেট মিশ্রণকে উত্তপ্ত করলে নাইট্রোমিথেন উৎপন্ন হয়।

$$ClCH_2COONa + NaNO_2 \longrightarrow NaCl + [CH_2(NO_2)COOH] \longrightarrow CH_3NO_2 + CO_2$$

(2) শিল্প পদ্ধতি ঃ হাইড্রোকার্বন ও নাইট্রিক অ্যাসিডকে 150—475°C তাপমাত্রায় বিক্রিয়া করালে নাইট্রো অ্যালকেন উৎপন্ন হয়। প্রত্যেক হাইড্রোকার্বন নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় বিক্রিয়া করে।

$$CH_4 \xrightarrow[400°C]{HNO_3} \underset{\text{নাইট্রোমিথেন}}{CH_3NO_2} \qquad CH_3CH_3 \xrightarrow[400°C]{HNO_3} \underset{\text{নাইট্রোইথেন}}{CH_3CH_2NO_2} + CH_3NO_2$$

● নাইট্রো অ্যালকেনের ধর্ম ও বিক্রিয়া ঃ

[A] ভৌত ধর্ম (Physical porperties) ঃ নাইট্রো অ্যালকেন বিশুদ্ধ অবস্থায় সুগন্ধযুক্ত বর্ণহীন তরল। জলে সামান্য দ্রাব্য।

[B] রাসায়নিক বিক্রিয়া (Chemical reactions) ঃ

(1) বিজারণ ঃ (i) নাইট্রো অ্যালকেনকে অনুঘটকের উপস্থিতিতে H_2, $LiAlH_4$ দ্বারা অথবা জিঙ্ক, টিন ইত্যাদি ধাতু ও অ্যাসিডের দ্বারা বিজারিত করলে **প্রাইমারি অ্যামিনে** পরিণত হয়।

$$RNO_2 \xrightarrow[\text{অথবা } Zn/HCl]{LiAlH_4} RNH_2 + 2H_2O$$

(ii) বিজারণ বিক্রিয়া ঃ প্রশম অবস্থায় নাইট্রো অ্যালকেনের সাথে ধাতু যেমন জিঙ্ক গুঁড়ো এবং NH_4Cl-এর দ্রবণের বিক্রিয়ায় নাইট্রো- অ্যালকেন **N-অ্যালকিল হাইড্রোক্সিল অ্যামিনে** পরিণত হয়।

$$RNO_2 \xrightarrow{Zn/NH_4Cl} RNHOH + H_2O$$

(2) ফুটন্ত HCl বা 85% H_2SO_4 দ্বারা আর্দ্র-বিশ্লেষণ করলে **প্রাইমারি নাইট্রো অ্যালকেন কার্বক্সিলিক অ্যাসিড** ও **হাইড্রোক্সিল অ্যামিনে** পরিণত হয়। সেকেন্ডারি নাইট্রো অ্যালকেন থেকে কিটোন ও নাইট্রাস অক্সাইড উৎপন্ন হয়।

$$\underset{\text{প্রাইমারি নাইট্রো অ্যালকেন}}{RCH_2NO_2} + H_2O \xrightarrow{HCl} RCOOH + NH_2OH$$

$$\underset{\text{সেকেন্ডারি নাইট্রো অ্যালকেন}}{2R_2CHNO_2} \xrightarrow{HCl} 2R_2CO + N_2O + H_2O$$

(3) নাইট্রো মিথেন, ক্ষার ও অতিরিক্ত ক্লোরিনের সঙ্গো বিক্রিয়ায় **ক্লোরোপিকরিন** উৎপন্ন হয়।

$$CH_3NO_2 + 3Cl_2 + 3NaOH \longrightarrow CCl_3NO_2 + 3NaCl + 3H_2O$$

(4) HNO_2-এর সঙ্গো বিক্রিয়া ঃ প্রাইমারি নাইট্রো অ্যালকেন HNO_2-এর সঙ্গো বিক্রিয়ায় কেলাসাকার **নাইট্রোলিক অ্যাসিড** উৎপন্ন করে, যা NaOH দ্রবণে দ্রবীভূত হয়ে লাল বর্ণে পরিণত হয়।

$$RCH_2NO_2 + HONO \longrightarrow \underset{\text{নাইট্রোলিক অ্যাসিড}}{R{-}C\begin{matrix}{=}NOH \\ \diagdown NO_2\end{matrix}} + H_2O \xrightarrow{NaOH} R{-}C\begin{matrix}{=}NONa \\ \diagdown NO_2\end{matrix}$$

সেকেন্ডারি নাইট্রো অ্যালকেন **নাইট্রোসো যৌগ** উৎপন্ন করে, যা NaOH দ্রবণে নীল বর্ণ ধারণ করে।

$$R_2CHNO_2 + HONO \longrightarrow R_2C\begin{matrix}\diagup NO \\ \diagdown NO_2\end{matrix} + H_2O$$

টারসিয়ারি নাইট্রো অ্যালকেনে α-H না থাকায় HNO_2-এর সঙ্গো বিক্রিয়া করে না।

● **নাইট্রো অ্যালকেনের ব্যবহার ঃ** নাইট্রো যৌগের দ্রাবক হিসাবে ব্যাপক ব্যবহার আছে। অ্যামিন, কার্বক্সিলিক অ্যাসিড তৈরিতে ব্যবহার হয়। ক্লোরোপিকরিন কীটনাশক তৈরিতে ব্যবহার হয়।

5.17. অ্যামিন [Amines]

● **অ্যামিনের সাধারণ প্রস্তুতি ঃ**

(1) অ্যালকিল হ্যালাইড অথবা অ্যালকোহলের সঙ্গো অ্যামোনিয়ার বিক্রিয়ায় অ্যালকিল অ্যামিন উৎপন্ন হয়। অতিরিক্ত অ্যালকিল হ্যালাইডের উপস্থিতিতে ডাই, ট্রাই ও ট্রেটা অ্যালকিল অ্যামিনের মিশ্রণ তৈরি হয়।

$$R{-}X + NH_3 \xrightarrow[-HX]{} RNH_2 \xrightarrow[-HX]{RX} R_2NH \xrightarrow[-HX]{RX} R_3N \xrightarrow{RX} R_4\overset{+}{N}\overset{-}{X}$$

(2) নাইট্রো অ্যালকেনের বিজারণ দ্বারা ঃ $RNO_2 \xrightarrow[\text{Sn/HCl বা } LiAlH_4]{[6H]} RNH_2 + 2H_2O$

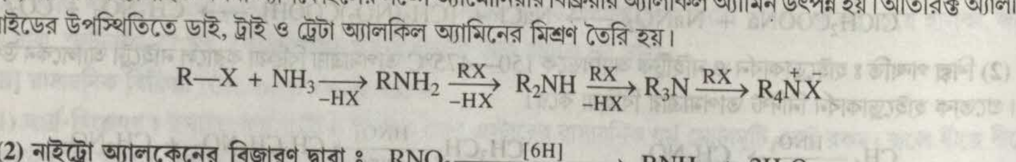
(3) অ্যালকিল সায়ানাইডের বিজারণ দ্বারা ঃ $R{-}C{\equiv}N \xrightarrow[Na/C_2H_5OH \text{ বা } LiAlH_4]{[4H]} R{-}CH_2NH_2$

(4) হফম্যান ডিগ্রেডেশন বিক্রিয়া দ্বারা ঃ অ্যাসিড অ্যামাইডের সঙ্গো ক্ষারীয় Br_2 বা NaOBr-এর বিক্রিয়ায় প্রাইমারি অ্যামিন উৎপন্ন হয়। $RCONH_2 + Br_2 + KOH \longrightarrow RNH_2 + 2KBr + K_2CO_3 + 2H_2O$

(5) গ্রিগনার্ড বিকারক ও ক্লোরামিনের বিক্রিয়ায় প্রাইমারি অ্যামিন উৎপন্ন হয়।

$$RMgCl + ClNH_2 \longrightarrow RNH_2 + MgCl_2$$

(6) গ্যাব্রিয়েল থ্যালিমাইড সংশ্লেষণ (Gabriel Phthalimide synthesis) **ঃ** প্রথমে থ্যালিমাইড ইথানলীয় KOH দ্রবণে অ্যালকিল আয়োডাইডের বিক্রিয়ায় N-অ্যালকিল থ্যালিমাইড উৎপন্ন হয়, যা KOH দ্বারা আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়ে অ্যালকিল অ্যামিন উৎপন্ন হয়।



● **মিথাইল অ্যামিন প্রস্তুতি ঃ**

(1) পরীক্ষাগার পদ্ধতি (Laboratory method) **ঃ** অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড ও তার দ্বিগুণ আয়তনের ফর্ম্যালিনের মিশ্রণকে 105ºC তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করলে মিথাইল অ্যামিন উৎপন্ন হয়।

$$NH_4Cl + 2HCHO \xrightarrow{\text{তাপ}} CH_3NH_2 + HCOOH + HCl$$

(2) নাইট্রোমিথেনকে Sn ও গাঢ় HCl অথবা Ni অনুঘটকের উপস্থিতিতে হাইড্রোজেন দ্বারা বিজারিত করলে মিথাইল অ্যামিন উৎপন্ন হয়।

$$CH_3NO_2 \xrightarrow[Sn/HCl]{[6H]} CH_3NH_2 + 2H_2O$$

(3) হফ্‌ম্যান ডিগ্রেডেশন পদ্ধতি ঃ অ্যাসিট্যামাইডকে ব্রোমিন ও KOH দ্রবণ বা NaOBr-এর সঙ্গে উত্তপ্ত করলে মিথাইল অ্যামিন উৎপন্ন হয়। $CH_3CONH_2 + Br_2 + 4KOH \longrightarrow CH_3NH_2 + 2KBr + K_2CO_3 + 2H_2O$

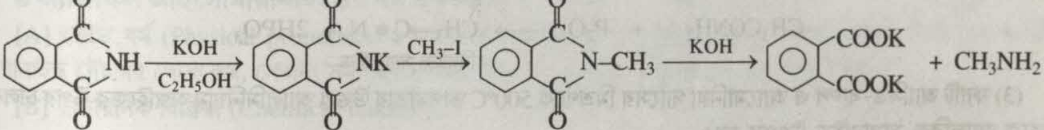
(4) অ্যাসিটিক অ্যাসিড এবং হাইড্রোজোয়িক অ্যাসিড (N_3H)-কে ঘন H_2SO_4 দ্বারা উত্তপ্ত করলে মিথাইল অ্যামিন পাওয়া যায়। এই বিক্রিয়াকে **স্মিড বিক্রিয়া** (Schmidt reaction) বলে।

$$CH_3COOH + N_3H \xrightarrow{H_2SO_4} CH_3NH_2 + N_2 + CO_2$$

(5) মিথাইল ম্যাগনেশিয়াম ক্লোরাইড ও ক্লোরামিনের বিক্রিয়ায় মিথাইল অ্যামিন তৈরি হয়।

$$CH_3MgCl + ClNH_2 \longrightarrow CH_3NH_2 + MgCl_2$$

(6) গ্যাব্রিয়েল থ্যালিমাইড পদ্ধতি ঃ



● অ্যামিন যৌগের ধর্ম ও বিক্রিয়া ঃ

[A] ভৌত ধর্ম (Physical properties) **ঃ** মিথাইল অ্যামিন বর্ণহীন, ঝাঁঝালো আঁশটে গন্ধযুক্ত গ্যাস। জলে দ্রাব্য, জলীয় দ্রবণ ক্ষারীয়। মিথাইল অ্যামিন ও অন্যান্য প্রাইমারি অ্যামিনের রাসায়নিক ধর্ম একই রকম।

[B] রাসায়নিক বিক্রিয়া (Chemical reactions) **ঃ**

(1) অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়ায় **লবণ** উৎপন্ন করে।

$$CH_3NH_2 + HCl \longrightarrow \underset{\text{মিথাইল অ্যামিন হাইড্রোক্লোরাইড}}{CH_3NH_2 . HCl} \quad \text{বা} \quad CH_3\overset{+}{N}H_3Cl^-$$

$$2CH_3NH_2 + H_2SO_4 \longrightarrow \underset{\text{মিথাইল অ্যামিন সালফেট}}{(CH_3NH_2)_2 . H_2SO_4} \quad \text{বা} \quad (CH_3\overset{+}{N}H_3)_2SO_4^{--}$$

(2) মিথাইল অ্যামিন **অ্যালকিল হ্যালাইডের সঙ্গে** বিক্রিয়া করে যথাক্রমে **সেকেন্ডারি ও টারসিয়ারি অ্যামিন** উৎপন্ন করে।

$$CH_3NH_2 + CH_3I \longrightarrow (CH_3)_2NH + HI$$
$$(CH_3)_2NH + CH_3I \longrightarrow (CH_3)_3N + HI$$

(3) নাইট্রাস অ্যাসিডের ($NaNO_2$ + লঘু HCl) সঙ্গে বিক্রিয়া করে মিথাইল অ্যামিন **মিথাইল অ্যালকোহলে** পরিণত হয়।

$$CH_3NH_2 + HNO_2 \longrightarrow CH_3OH + N_2 + H_2O$$

(4) কার্বিল অ্যামিন বিক্রিয়া (Carbylamine reaction) **ঃ ক্লোরোফর্ম ও অ্যালকোহলীয় কস্টিক পটাশের** সঙ্গে বিক্রিয়ায় মিথাইল অ্যামিন, **মিথাইল আইসো-সায়ানাইডে** পরিণত হয়। এই বিক্রিয়াকে **কার্বিল অ্যামিন** বিক্রিয়া বলে। **আইসো-সায়ানাইড অত্যন্ত দুর্গন্ধবিশিষ্ট যৌগ।**

$$CH_3NH_2 + CHCl_3 + 3KOH \longrightarrow CH_3—NC + 3KCl + 3H_2O$$

(5) অ্যাসিট্যাইল ক্লোরাইড বা অ্যাসিটিক অ্যানহাইড্রাইডের সঙ্গে বিক্রিয়ায় মিথাইল অ্যামিন, **মিথাইল অ্যাসিট্যামাইড** উৎপন্ন করে। এই অ্যাসিটাইলেশন বিক্রিয়ায় অ্যামিনের $—NH_2$ মূলকের একটি H পরমাণু $—CH_3CO$ মূলক দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়।

$$CH_3COCl + CH_3NH_2 \longrightarrow \underset{\text{মিথাইল অ্যাসিট্যামাইট}}{CH_3CONHCH_3} + HCl$$

$$CH_3\overset{O}{\overset{\|}{C}}—O—\overset{O}{\overset{\|}{C}}—CH_3 + CH_3NH_2 \longrightarrow CH_3CONHCH_3 + CH_3COOH$$

● **মিথাইল অ্যামিনের ব্যবহার ঃ** হিমায়ক (Refrigerant)-রূপে এর ব্যবহার আছে। দ্রাবক রূপেও এর ব্যবহার হয়।

5.18. অ্যালকিল সায়ানাইড [Alkyl Cyanide, R—CN]

কোনো অ্যালকিল সায়ানাইডের আর্দ্র-বিশ্লেষণে যে অ্যাসিড পাওয়া যায়, ওই সায়ানাইডকে ওই অ্যাসিডের **নাইট্রাইল যৌগ** বলা হয়। যেমন, CH_3CN, মিথাইল সায়ানাইডকে **অ্যাসিটো নাইট্রাইল** বলে, কারণ যৌগটির আর্দ্র-বিশ্লেষণে **অ্যাসিটিক অ্যাসিড** উৎপন্ন হয়।

$$CH_3CN \xrightarrow[H^+]{H_2O} CH_3COOH$$

সাধারণ প্রস্তুতপ্রণালী ঃ (1) অ্যালকিল আয়োডাইডকে পটাশিয়াম সায়ানাইডের অ্যালকোহলীয় দ্রবণের সঙ্গে বিক্রিয়া ঘটালে **অ্যালকিল সায়ানাইড** প্রস্তুত হয়।

$$RI + KCN \longrightarrow RCN + KI$$

$$CH_3I + KCN \longrightarrow \underset{\text{মিথাইল সায়ানাইড}}{CH_3CN} + KI$$

(2) অ্যালডক্সিম অথবা **অ্যাসিড-অ্যামাইডকে ফসফরাস পেন্টোক্সাইডের সঙ্গে** মিশিয়ে পাতিত করলে **অ্যালকিল সায়ানাইড** পাওয়া যায়।

$$R—CH{=}NOH + P_2O_5 \longrightarrow RCN + 2HPO_3$$

$$CH_3CONH_2 + P_2O_5 \longrightarrow \underset{\text{মিথাইল সায়ানাইড}}{CH_3—C \equiv N} + 2HPO_3$$

(3) ফ্যাটি অ্যাসিড-বাষ্প ও অ্যামোনিয়া গ্যাসের মিশ্রণকে 500°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত অ্যালুমিনিয়াম অক্সাইডের উপর চালনা করলে **অ্যালকিল সায়ানাইড উৎপন্ন হয়।**

$$CH_3COOH + NH_3 \rightarrow CH_3COONH_4 \xrightarrow[500°C]{Al_2O_3} CH_3CN + 2H_2O$$

(4) গ্রিগনার্ড বিকারক ও সায়ানোজেন ক্লোরাইডের বিক্রিয়ায় অ্যালকিল সায়ানাইড উৎপন্ন হয়।

$$CH_3MgCl + ClCN \longrightarrow CH_3CN + MgCl_2$$

● **অ্যালকিল সায়ানাইডের ধর্ম ও বিক্রিয়া ঃ [A] ভৌত ধর্ম** (Physical properties) ঃ অ্যালকিল সায়ানাইড জল, অ্যালকোহল ও ইথারে দ্রাব্য। জলের দ্রাব্যতা আণবিক ওজন বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে কমে যায়। এগুলি বিষাক্ত পদার্থ।

[B] রাসায়নিক বিক্রিয়া ঃ (1) লঘু অ্যাসিডের সঙ্গে উত্তপ্ত করলে আর্দ্র-বিশ্লেষণ ঘটে এবং অ্যাসিড উৎপন্ন হয়। লঘু ক্ষারের দ্বারা আর্দ্র-বিশ্লেষণ ঘটে।

$$CH_3CN + 2H_2O + HCl \longrightarrow CH_3COOH + NH_4Cl$$

$$CH_3CN + H_2O + NaOH \longrightarrow CH_3COONa + NH_3$$

অ্যাসিড দ্বারা আর্দ্র-বিশ্লেষণের প্রথম ধাপে অ্যামাইড উৎপন্ন হয়। পরবর্তী ধাপে এই অ্যামাইড পরিণত হয় অ্যাসিডে। যে কোনো জৈব যৌগের —CN মূলককে —COOH মূলকে পরিবর্তন করতে হলে ওই যৌগকে অ্যাসিড আর্দ্র-বিশ্লেষণ করা হয়।

$$CH_3CN + H_2O \xrightarrow{H^+} CH_3CONH_2 \xrightarrow{H_2O} CH_3COOH + NH_3$$

(2) অ্যালকিল সায়ানাইডকে বিজারিত করলে প্রাইমারি অ্যামিন উৎপন্ন হয়। বিজারণ সোডিয়াম ও অ্যালকোহল বা নিকেল অনুঘটকের উপস্থিতিতে হাইড্রোজেন দ্বারা সম্পন্ন করা হয়।

$$CH_3CN \xrightarrow[\text{Na/অ্যালকোহল}]{[4H]} \underset{\text{ইথাইল অ্যামিন}}{CH_3\text{-}CH_2\text{-}NH_2}$$

(3) অ্যালকিন সায়ানাইড, গ্রিগনার্ড বিকারকের সঙ্গে বিক্রিয়া করে কিটোন উৎপন্ন করে।

$$CH_3—C{\equiv}N + CH_3MgI \rightarrow CH_3—\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}{=}N.MgI \xrightarrow{H_2O} CH_3—\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}{=}O + Mg(NH_2)I$$

(4) মিথাইল সায়ানাইড এবং ইথানল মিশ্রণকে ঘন H_2SO_4 সহযোগে উত্তপ্ত করলে ইথাইল অ্যাসিটেট উৎপন্ন হয়।

$$CH_3CN + C_2H_5OH + H_2O \xrightarrow{H_2SO_4} CH_3COOC_2H_5 + NH_3$$

5.19. অ্যালকিল আইসোসায়ানাইড [Alkyl Isocyanide; RNC]

● **সাধারণ প্রস্তুতি ঃ**

(1) ইথানলীয় সিলভার সায়ানাইডের দ্রবণে অ্যালকিল আয়োডাইড মিশিয়ে উত্তপ্ত করলে **অ্যালকিল আইসোসায়ানাইড** উৎপন্ন হয়। (অল্প পরিমাণে সায়ানাইডও তৈরি হয়)।

$$RI + AgCN \longrightarrow RNC + AgI \quad ; \qquad CH_3I + AgCN \longrightarrow \underset{\text{মিথাইল আইসোসায়ানাইড}}{CH_3—\overset{+}{N}\equiv\overset{-}{C}:} + AgI$$

(2) ইথানলীয় KOH দ্রবণে প্রাইমারি অ্যামিন ও ক্লোরোফর্ম মিশ্রণকে উত্তপ্ত করলে **আইসোসায়ানাইড** উৎপন্ন হয়।

$$RNH_2 + CHCl_3 + 3KOH \longrightarrow RNC + 3KCl + 3H_2O$$

এই বিক্রিয়াটি কার্বাইল অ্যামিন বিক্রিয়া নামে পরিচিত।

(3) N-অ্যালকিল ফর্ম্যামাইড পিরিডিনের উপস্থিতিতে $POCl_3$-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় নিরুদিত হয়ে আইসোসায়ানাইডে পরিণত হয়। $HCONHR \xrightarrow[\text{পিরিডিন}]{POCl_3} RNC + H_2O$

● **অ্যালকিল আইসোসায়ানাইডের ধর্ম ও বিক্রিয়া ঃ**

[A] ভৌত ধর্ম (Physical properties) ঃ আইসোসায়ানাইড যৌগ দুর্গন্ধযুক্ত বর্ণহীন, বিষাক্ত তরল। এদের পোলারিটি সায়ানাইড যৌগের থেকে কম, সেজন্য সমবায়ব সায়ানাইডের থেকে স্ফুটনাঙ্ক কম হয়। জলে প্রায় অদ্রাব্য।

[B] রাসায়নিক বিক্রিয়া (Chemical reactions) ঃ

(1) আর্দ্র-বিশ্লেষণ ঃ আইসোসায়ানাইড শুধুমাত্র লঘু অ্যাসিডের উপস্থিতিতে আর্দ্র-বিশ্লেষিত হয় কিন্তু ক্ষারের উপস্থিতিতে আর্দ্র-বিশ্লেষণ ঘটে না। $RNC + 2H_2O \xrightarrow{H^+} \underset{\text{অ্যামিন}}{RNH_2} + HCOOH$

(2) বিজারণ ঃ আইসোসায়ানাইড Na/ইথানল বা অনুঘটকের উপস্থিতিতে H_2 দ্বারা বিজারিত হয়ে **সেকেন্ডারি অ্যামিন** উৎপন্ন করে। $RNC \xrightarrow[Na/C_2H_5OH]{[4H]} RNHCH_3$

(3) অ্যালকিল আইসোসায়ানাইডকে অনেকক্ষণ উত্তপ্ত করলে **সায়ানাইডে** পরিণত হয়। $RNC \xrightarrow{\text{তাপ}} RCN$

● **ফর্মিক অ্যাসিড ও অ্যাসিটিক অ্যাসিডের মধ্যে পার্থক্য ঃ**

বিক্রিয়া	ফর্মিক অ্যাসিড	অ্যাসিটিক অ্যাসিড
(i) অ্যামোনিয়া মিশ্রিত সিলভার **নাইট্রেট দ্রবণ মেশালে** (টলেন বিকারক)	সাদা অধঃক্ষেপ পড়ে, পরে বিজারিত হয়ে কালো ধাতব সিলভারে পরিণত হয়।	সাদা অধঃক্ষেপের কোনোও পরিবর্তন হয় না। অর্থাৎ বিজারণ ক্ষমতা নেই।
(ii) **ফেলিং দ্রবণে**	লাল কিউপ্রাস অক্সাইডের অধঃক্ষেপ পড়ে।	লাল বর্ণের Cu_2O অধঃক্ষিপ্ত হয় না অর্থাৎ বিজারিত হয় না।
(iii) **শুষ্ক সোডিয়াম লবণের সঙ্গে As_2O_3 মিশিয়ে উত্তপ্ত করা হলে**	কোনো বিক্রিয়া হয় না।	**অত্যন্ত দুর্গন্ধযুক্ত ক্যাকোডিল অক্সাইড গ্যাস উৎপন্ন হয়।**

● **মুক্ত শৃঙ্খল যৌগের কার্বন পরমাণু সংখ্যার হ্রাস বা বৃদ্ধিকরণ ঃ**

বিভিন্ন বিক্রিয়া দ্বারা বেশি সংখ্যক কার্বন পরমাণুবিশিষ্ট অ্যালকোহল, অ্যালডিহাইড, অ্যাসিড প্রভৃতি যৌগকে কম সংখ্যক কার্বন পরমাণুবিশিষ্ট অ্যালকোহল, অ্যালডিহাইড, অ্যাসিড প্রভৃতি যৌগে পরিণত করা যায়। আবার কম সংখ্যক কার্বন পরমাণু-বিশিষ্ট অ্যালকোহল, অ্যালডিহাইড, অ্যাসিড প্রভৃতি যৌগকে বেশি সংখ্যক কার্বন পরমাণুবিশিষ্ট অ্যালকোহল, অ্যালডিহাইড, অ্যাসিড পরিণত করা যায়। এইভাবে একই সমগোত্র শ্রেণিতে step down (কম সংখ্যক C পরমাণুতে নিয়ে যাওয়া) বা step up (বেশি সংখ্যক C পরমাণুতে নিয়ে যাওয়া) বিক্রিয়ায় বেশির ভাগ ক্ষেত্রে অ্যামিন যৌগ গঠনের দরকার হয়। পরের পাতায় কয়েকটি উদাহরণ দেওয়া হল ঃ

● **Step down বিক্রিয়া ঃ**

(1) ইথাইল অ্যালকোহল থেকে মিথাইল অ্যালকোহল প্রস্তুত করা ঃ

$$\underset{\text{ইথাইল অ্যালকোহল}}{CH_3CH_2OH} \xrightarrow[K_2Cr_2O_7/H_2SO_4]{[O]} \underset{\text{অ্যাসিটিক অ্যাসিড}}{CH_3COOH} \xrightarrow[(NH_4)_2CO_3]{NH_3 \text{ বা}} \underset{\text{অ্যামোনিয়াম অ্যাসিটেট}}{CH_3COONH_4} \xrightarrow{\text{শুষ্ক পাতন } -H_2O} \underset{\text{অ্যাসিটামাইড}}{CH_3CONH_2}$$

$$\underset{\text{অ্যাসিটামাইড}}{CH_3CONH_2} \xrightarrow{Br_2/KOH \text{ বা } KOBr \text{ হফম্যানস ডিগ্রেডেশন}} \underset{\text{মিথাইন অ্যামিন}}{CH_3NH_2} \xrightarrow{HNO_2} \underset{\text{মিথাইল অ্যালকোহল}}{CH_3OH}$$

(2) অ্যাসিটিক অ্যাসিড থেকে ফর্মিক অ্যাসিড ঃ [*H. S. '97*]

$$\underset{\text{অ্যাসিটিক অ্যাসিড}}{CH_3COOH} \xrightarrow[(NH_4)_2CO_3]{NH_3 \text{ বা}} \underset{\text{অ্যামোনিয়াম অ্যাসিটেট}}{CH_3COONH_4} \xrightarrow[\text{পাতন}]{\text{শুষ্ক}} \underset{\text{অ্যাসিটামাইড}}{CH_3CONH_2} \xrightarrow[\text{ডিগ্রেডেশন}]{Br_2/KOH \text{ হফম্যানস}} \underset{\text{মিথাইল অ্যামিন}}{CH_3NH_2}$$

$$\underset{\text{মিথাইল অ্যামিন}}{CH_3NH_2} \xrightarrow{HNO_2} \underset{\text{মিথানল}}{CH_3OH} \xrightarrow[Na_2Cr_2O_7/H_2SO_4]{[O]} \underset{\text{ফর্মিক অ্যাসিড}}{HCOOH}$$

(3) ইথাইল অ্যামিন থেকে মিথাইল অ্যামিন ঃ

$$\underset{\text{ইথাইল অ্যামিন}}{CH_3CH_2NH_2} \xrightarrow{HNO_2} \underset{\text{ইথাইল অ্যালকোহল}}{CH_3CH_2OH} \xrightarrow[Na_2Cr_2O_7/H_2SO_4]{[O]} \underset{\text{অ্যাসিটিক অ্যাসিড}}{CH_3COOH} \xrightarrow[(NH_4)_2CO_3]{NH_3 \text{ বা}} \underset{\text{অ্যামোনিয়াম অ্যাসিটেট}}{CH_3COONH_4}$$

$$\underset{\text{অ্যামোনিয়াম অ্যাসিটেট}}{CH_3COONH_4} \xrightarrow{\text{শুষ্ক পাতন}} \underset{\text{অ্যাসিটামাইড}}{CH_3CONH_2} \xrightarrow{Br_2/KOH} \underset{\text{মিথাইল অ্যামিন}}{CH_3NH_2}$$

(4) অ্যাসিট্যালডিহাইড থেকে ফর্ম্যালডিহাইড ঃ

(i)
$$\underset{\text{অ্যাসিট্যাল-ডিহাইড}}{CH_3CHO} \xrightarrow[K_2Cr_2O_7/H_2SO_4]{[O]} \underset{\text{অ্যাসিটিক অ্যাসিড}}{CH_3COOH} \xrightarrow{NH_3} \underset{\text{অ্যামোনিয়াম অ্যাসিটেট}}{CH_3COONH_4} \xrightarrow{\text{শুষ্ক পাতন}} \underset{\text{অ্যাসিটামাইড}}{CH_3CONH_2}$$

$$\underset{\text{অ্যাসিটামাইড}}{CH_3CONH_2} \xrightarrow{Br_2/KOH} \underset{\text{মিথাইল অ্যামিন}}{CH_3NH_2} \xrightarrow{HNO_2} \underset{\text{মিথাইল অ্যালকোহল}}{CH_3OH} \xrightarrow[PCC/CH_2Cl_2]{[O]} \underset{\text{ফর্ম্যালডিহাইড}}{HCHO}$$

(ii)
$$\underset{\text{অ্যাসিট্যাল-ডিহাইড}}{CH_3CHO} \xrightarrow[LiAlH_4]{2H} \underset{\text{ইথানল}}{CH_3CH_2OH} \xrightarrow[H_2SO_4]{170^o} \underset{\text{ইথিলিন}}{CH_2{=}CH_2} \xrightarrow[Zn/H_2O]{O_3} \underset{\text{ফর্ম্যালডিহাইড}}{HCHO}$$

(5) প্রোপিন থেকে ইথিলিন ঃ

$$\underset{\text{প্রোপিন}}{CH_3{-}CH{=}CH_2} \xrightarrow[Zn/H_2O]{O_3} \underset{\text{অ্যাসিট্যালডিহাইড}}{CH_3CHO} \xrightarrow[LiAlH_4]{[2H]} \underset{\text{ইথানল}}{CH_3CH_2OH} \xrightarrow[H_2SO_4]{170^oC} \underset{\text{ইথিলিন}}{CH_2{=}CH_2}$$

● **Set up বিক্রিয়া ঃ**

(1) মিথাইল অ্যালকোহল থেকে ইথানল ঃ

$$\underset{\text{মিথাইল অ্যালকোহল}}{CH_3OH} \xrightarrow[I_2]{\text{লাল P}} \underset{\text{মিথাইল আয়োডাইড}}{CH_3I} \xrightarrow{KCN} \underset{\text{মিথাইল সায়ানাইড}}{CH_3CN} \xrightarrow[\text{Na/অ্যালকোহল}]{[H]} \underset{\text{ইথাইল অ্যামিন}}{CH_3CH_2NH_2} \xrightarrow{HNO_2} \underset{\text{ইথানল}}{C_2H_5OH}$$

(2) ফর্ম্যালডিহাইড থেকে অ্যাসিট্যালডিহাইড এবং অ্যাসিটিক অ্যাসিড ঃ

$$\underset{\text{ফর্ম্যাল-ডিহাইড}}{HCHO} \xrightarrow[H_2O]{Na/Hg} \underset{\text{মিথানল}}{CH_3OH} \xrightarrow{\text{লাল } P + I_2} \underset{\text{মিথাইল আয়োডাইড}}{CH_3I} \xrightarrow{KCN} \underset{\text{মিথাইল সায়ানাইড}}{CH_3CN} \xrightarrow[Na/Alcohol]{[H]} \underset{\text{ইথাইল অ্যামিন}}{CH_3CH_2NH_2}$$

$$\underset{\text{মিথাইল সায়ানাইড}}{CH_3CN} \xrightarrow[\text{আর্দ্র-বিশ্লেষণ}]{H^+} \underset{\text{অ্যাসিটিক অ্যাসিড}}{CH_3COOH}$$

$$\underset{\text{ইথাইল অ্যামিন}}{CH_3CH_2NH_2} \xrightarrow{HNO_2} \underset{\text{ইথাইল অ্যালকোহল}}{CH_3CH_2OH} \xrightarrow{[O]} \underset{\text{অ্যাসিট্যালডিহাইড}}{CH_3CHO} \xrightarrow{[O]} \underset{\text{অ্যাসেটিক অ্যাসিড}}{CH_3COOH}$$

(3) অ্যাসিটিক অ্যাসিড থেকে প্রোপানোয়িক অ্যাসিড ঃ

$$\underset{\text{অ্যাসিটিক অ্যাসিড}}{CH_3COOH} \xrightarrow{PCl_5} CH_3COCl \xrightarrow[LiAlH_4]{H} \underset{\text{ইথাইল অ্যালকোহল}}{CH_3CH_2OH} \xrightarrow[I_2]{\text{লাল } P} \underset{\text{ইথাইল আয়োডাইড}}{CH_3CH_2I} \xrightarrow{KCN} \underset{\text{ইথাইল সায়ানাইড}}{CH_3CH_2CN}$$

$$\underset{\text{ইথাইল সায়ানাইড}}{CH_3CH_2CN} \xrightarrow[\text{আদ্রবিশ্লেষণ}]{H+} \underset{\text{প্রোপানোয়িক অ্যাসিড}}{CH_3CH_2COOH}$$

$$CH_3COCl \xrightarrow[\text{ডায়াজোমিথেন}]{CH_2N_2} CH_3COCHN_2 \xrightarrow[H_2O]{Ag_2O} \underset{\text{প্রোপানোয়িক অ্যাসিড}}{CH_3CH_2COOH}$$

(4) মিথাইল অ্যামিন থেকে ইথাইল অ্যামিন ঃ

$$\underset{\text{মিথাইল অ্যামিন}}{CH_3NH_2} \xrightarrow{HNO_2} \underset{\text{মিথাইল অ্যালকোহল}}{CH_3OH} \xrightarrow[I_2]{\text{লাল } P} \underset{\text{মিথাইল আয়োডাইড}}{CH_3I} \xrightarrow{KCN} \underset{\text{মিথাইল সায়ানাইড}}{CH_3CN} \xrightarrow[\text{Na/অ্যালকোহল}]{[H]} \underset{\text{ইথাইল অ্যামিন}}{CH_3CH_2NH_2}$$

(5) ইথিলিন থেকে প্রোপিলিন ঃ

$$\underset{\text{ইথিলিন}}{CH_2{=}CH_2} \xrightarrow{HI} \underset{\text{ইথাইল আয়োডাইড}}{CH_3{-}CH_2I} \xrightarrow{KCN} \underset{\text{ইথাইল সায়ানাইড}}{CH_3CH_2CN} \xrightarrow[Na/C_2H_5OH]{[H]} \underset{\text{প্রোপাইল অ্যামিন}}{CH_3CH_2CH_2NH_2}$$

$$\underset{\text{প্রোপাইল অ্যামিন}}{CH_3CH_2CH_2NH_2} \xrightarrow{HNO_3} \underset{\text{1-প্রোপানল}}{CH_3CH_2CH_2OH} \xrightarrow[\text{গাঢ় } H_2SO_4]{180^\circ C} \underset{\text{প্রোপিলিন}}{CH_3CH = CH_2}$$

● **জৈব রসায়নের বিক্রিয়া সম্পর্কিত কতকগুলি সমস্যার সমাধান ঃ**

***1.** একটি জৈব যৌগের (A) 40%C, 6·6% H এবং অক্সিজেন বর্তমান। ওর আণবিক ওজন 30। (A) যৌগ ফিনাইল হাইড্রাজিনের সঙ্গে বিক্রিয়া করে এবং ফেলিং দ্রবণকে বিজারিত করে। কস্টিক সোডার গাঢ় জলীয় দ্রবণের সঙ্গে (A) যৌগকে উত্তপ্ত করলে একটি জৈব অ্যাসিডের সোডিয়াম লবণ (B) এবং একটি প্রশম জৈব যৌগ (C) উৎপন্ন হয়। উপরিউক্ত তথ্য থেকে যুক্তিসহ (A)-এর আণবিক গঠন উল্লেখ করো। (A)-যৌগের ফিনাইল হাইড্রাজিন এবং ফেলিং দ্রবণের বিক্রিয়া সমীকরণ সহ লেখো।* [H.S. '88]

সমাধান ঃ শতকরা সংযুতিকে পারমাণবিক ওজন দ্বারা ভাগ করলে যৌগে পরমাণু সংখ্যার অনুপাত হয়,

$$C : H : O = \frac{40}{12} : \frac{6·6}{1} : \frac{100-(40+6·6)}{16} = 3·33 : 6·6 : 3·33$$

পরমাণুর অনুপাতকে অনুপাতের ক্ষুদ্রতম সংখ্যা দ্বারা ভাগ করে,

$$C : H : O = \frac{3·33}{3·33} : \frac{6·6}{3·33} : \frac{3·33}{3·3} = 1 : 1·98 : 1 \simeq 1 : 2 : 1$$

∴ যৌগ (A)-এর স্থূল সংকেত ঃ CH_2O. ধরি, আণবিক সংকেত $(CH_2O)_n$ ∴ $(CH_2O)_n = 30$

যেহেতু (A)-এর আণবিক ওজন 30 ∴ $(12 + 2 + 16)n = 30$ ∴ $n = 1$

∴ (A)-এর আণবিক গঠন CH_2O। (A) যৌগটি ফিনাইল হাইড্রাজিনের সঙ্গে বিক্রিয়া করে অর্থাৎ এটি একটি কার্বনিল। আবার (A) ফেলিং দ্রবণকে বিজারিত করে, সুতরাং (A) যৌগটি একটি অ্যালডিহাইড এবং এর গঠন সংকেত ঃ $H{-}\underset{\underset{O}{\|}}{C}{-}H$ (ফর্ম্যালডিহাইড)।

HCHO (ফর্ম্যালডিহাইড)-কে উত্তপ্ত NaOH দ্রবণের সঙ্গে উত্তপ্ত করলে ক্যান্নিজারো বিক্রিয়া ঘটে HCOONa (সোডিয়াম ফর্মেট) এবং CH_3OH উৎপন্ন হয়।

$$\underset{(A)}{2HCHO} \xrightarrow{NaOH} \underset{(B)}{HCOONa} + \underset{(C)}{CH_3OH}$$

$$HCHO + H_2NNH\text{—}C_6H_5 \longrightarrow H_2C{=}NNH\text{—}C_6H_4$$

$$HCHO + 2CuO \longrightarrow Cu_2O\downarrow + HCOOH$$

2. একটি জৈব যৌগ $C_6H_{12}O_6$-কে আর্দ্রবিশ্লেষিত করলে একটি একক্ষারীয় অ্যাসিড (A) এবং একটি অ্যালকোহল (B) উৎপন্ন করে। 1 গ্রাম বিশুদ্ধ (A)-কে প্রশমিত করতে 13·5 মিলি নর্মাল ক্ষার প্রয়োজন হয়। অ্যালকোহল (B)-কে জারিত করলে অ্যাসিড (A) তৈরি হয়। (A)-এর আণবিক ওজন ও আণবিক সংকেত নির্ণয় করো। A, B এবং মূল যৌগ ($C_6H_{12}O_2$)-কে শনাক্ত করো।

সমাধান ঃ জৈব যৌগ $C_6H_{12}O_6$-কে আর্দ্রবিশ্লেষিত করলে একটি এক-ক্ষারীয় অ্যাসিড (A) ও একটি অ্যালকোহল পাওয়া যায়, অতএব যৌগটি একটি এস্টার। $RCOOR' + H_2O \longrightarrow RCOOH + R'OH$

1 গ্রাম বিশুদ্ধ (A)-কে প্রশমিত করতে 13·5 মিলি নর্ম্যাল ক্ষার প্রয়োজন হয়।

∴ 13·5 মিলি N ক্ষার ≡ 1 গ্রাম বিশুদ্ধ অ্যাসিড (A)

∴ 1000 মিলি N ক্ষার ≡ $\frac{1000}{13{\cdot}5} \simeq 74$ গ্রাম বিশুদ্ধ অ্যাসিড (A)

1000 মিলি N ক্ষার এক গ্রাম তুল্যাঙ্ক অ্যাসিডকে প্রশমিত করে।

∴ অ্যাসিডটির তুল্যাঙ্কভার = 74 এবং যেহেতু অ্যাসিডটি এক-ক্ষারীয় সুতরাং (A)-এর আণবিক ওজন 74

(A) একটি এক-ক্ষারীয় অ্যাসিড, সুতরাং (A)-কে $C_nH_{2n}O_2$ দ্বারা প্রকাশ করা যায়।

∴ $C_nH_{2n}O_2 = 74$ বা, $12n + 2n + 32 = 74$ বা, $14n = 74$ ∴ $n = 3$

∴ (A) অ্যাসিডটির আণবিক সংকেত হল $C_3H_6O_2$ এবং যেহেতু এটি এক-ক্ষারীয়, এর সংকেত হল C_2H_5COOH অর্থাৎ (A) অ্যাসিডটির হল CH_3CH_2COOH (প্রোপানোয়িক অ্যাসিড)।

যেহেতু $C_6H_{12}O_6$-এর আর্দ্রবিশ্লেষণে (A) ও (B) পাওয়া যায়, অতএব (A) ও (B)-এর মোট কার্বন সংখ্যা 6। আবার (A)-তে 3টি কার্বন পরমাণু আছে, সুতরাং (B) একটি 3টি পরমাণু যুক্ত অ্যালকোহল। এখন অ্যালকোহল (B)-কে জারিত করলে সমসংখ্যক কার্বন পরমাণু যুক্ত এক-ক্ষারীয় অ্যাসিড (A), প্রোপানোয়িক অ্যাসিড পাওয়া যায়। অতএব (B) একটি 3টি কার্বন পরমাণুযুক্ত 1° অ্যালকোহল। এখন 3টি কার্বন পরমাণুযুক্ত একমাত্র 1° অ্যালকোহল হল $CH_3CH_2CH_2OH$ বা, 1-প্রোপানল।

যেহেতু $C_6H_{12}O_6$-এর আর্দ্র বিশ্লেষণে প্রোপানোয়িক অ্যাসিড এবং 1-প্রোপানল পাওয়া যায়, অতএব এস্টারটি হল $CH_3CH_2COOCH_2CH_2CH_3$ বা, n-প্রোপাইল প্রোপানোয়েট।

∴ A = CH_3CH_2COOH (প্রোপানোয়িক অ্যাসিড)

B = $CH_3CH_2CH_2OH$ (1-প্রোপানল)

এবং মূল যৌগ ($C_6H_{12}O_6$)টি $CH_3CH_2COOCH_2CH_2CH_3$ (n-প্রোপাইল প্রোপানোয়েট)।

3. একটি জৈব যৌগ (A)-এর ওজনগত সংযুতি নিম্নরূপ ঃ

কার্বন = 65·45%, নাইট্রোজেন = 25·46% এবং হাইড্রোজেন = 9·09%। যৌগটির বাষ্পঘনত্ব 27·5। একে আর্দ্রবিশ্লেষণ করলে একটি মনোবেসিক অ্যাসিড (B) উৎপন্ন হয় যা সোডালাইম সহযোগে পাতন করলে একটি হাইড্রোকার্বন C উৎপন্ন হয়। (A)-কে অনুঘটকের উপস্থিতিতে হাইড্রোজেনায়িত করলে মনোঅ্যাসিডিক বেস (D) উৎপন্ন হয় যা নাইট্রাস অ্যাসিড প্রয়োগে n-প্রোপাইল অ্যালকোহল উৎপন্ন করে। A, B, C এবং D-কে শনাক্ত করো।

সমাধান ঃ (A) যৌগে পরমাণু সংখ্যার অনুপাত— $C : N : H = \frac{65{\cdot}45}{12} : \frac{25{\cdot}46}{14} : \frac{9{\cdot}09}{1} = 5{\cdot}45 : 1{\cdot}82 : 9{\cdot}09$

$= \frac{5{\cdot}45}{1{\cdot}82} : \frac{1{\cdot}82}{1{\cdot}82} : \frac{9{\cdot}09}{1{\cdot}82} = 2{\cdot}99 : 1 : 4{\cdot}99 = 3 : 1 : 5$ (লঘিষ্ঠ পূর্ণসংখ্যার অনুপাত)

∴ যৌগটির স্থূল সংকেত C_3H_5N এবং যৌগটির আণবিক সংকেত $(C_3H_5N)_n$

যৌগটির আণবিক গুরুত্ব = 2 × বাষ্পঘনত্ব = 2 × 27·5 = 55 ∴ $(36 + 5 + 14)n = 55$ ∴ $n = 1$

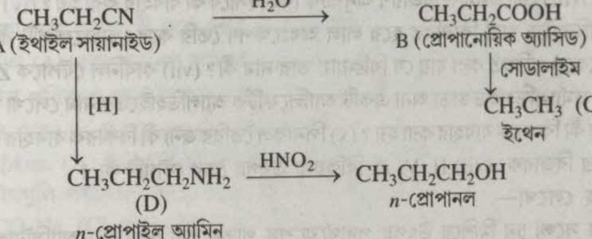
∴ যৌগ (A)-এর আণবিক সংকেত C_3H_5N

(A) যৌগ আর্দ্র বিশ্লেষণে একটি মনোবেসিক অ্যাসিড (B)-এ পরিণত হয়, অতএব নাইট্রোজেন ঘটিত (A) যৌগটি একটি সায়ানাইড, যার আণবিক সংকেত C_3H_5N। সুতরাং সায়ানাইড যৌগটি হল CH_3CH_2CN (A) এবং এর আর্দ্র বিশ্লেষণে CH_3CH_2COOH (B),

প্রোপানোয়িক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়। অ্যাসিড (B)-কে সোডালাইম সংযোগে পাতন করলে ডিকার্বোক্সিলেশন হয়ে হাইড্রোকার্বন ইথেন, C_2H_6 (C)-এ পরিণত হয়।

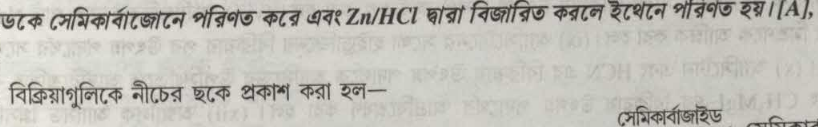
এখন মনোঅ্যাসিডিক বেস (D)-কে নাইট্রাস দ্বারা বিক্রিয়ায় n-প্রোপানল পাওয়া যায়, অতএব D হল n-প্রোপাইল অ্যামিন, যা CH_3CH_2CN (A)-কে হাইড্রোজেনায়িত করলে উৎপন্ন হয়।

বিক্রিয়া ঃ



4. ***একটি জৈব যৌগের [A] আণবিক গুরুত্ব 60, যৌগটির সঙ্গে $NaHCO_3$-এর বিক্রিয়ায় CO_2 মুক্ত হয়। যৌগটির সঙ্গে PCl_5-এর বিক্রিয়ায় [B] যৌগ উৎপন্ন হয়। [B] যৌগকে Pd অনুঘটকের উপস্থিতিতে H_2 দ্বারা বিজারিত করলে [C] যৌগ উৎপন্ন হয়, যা সেমিকার্বাজাইডকে সেমিকার্বাজোনে পরিণত করে এবং Zn/HCl দ্বারা বিজারিত করলে ইথেনে পরিণত হয়। [A], [B] এবং [C]-কে শনাক্ত করো।***

সমাধান ঃ বিক্রিয়াগুলিকে নীচের ছকে প্রকাশ করা হল—



এখানে দেখা যায় [A] যৌগটি $NaHCO_3$-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় CO_2 মুক্ত করে, সুতরাং [A] যৌগটি হল **কার্বক্সিলিক অ্যাসিড।** —COOH মূলকের ভর = 12 + 16 + 16 + 1 = 45। সুতরাং [A] যৌগে —COOH মূলকের সঙ্গে যুক্ত অ্যালকিল মূলকটির ভর = 60 − 45 = 15. এখন $—CH_3$ মূলকের ভর = 15, সুতরাং [A] যৌগটি হল CH_3COOH অর্থাৎ **অ্যাসিটিক অ্যাসিড।**

CH_3COOH, [A]-এর সঙ্গে PCl_5-এর বিক্রিয়ায় **অ্যাসিটাইল ক্লোরাইড,** CH_3COCl উৎপন্ন হয়। সুতরাং [B] যৌগটি হল অ্যাসিটাইল ক্লোরাইড।

$$\underset{\text{অ্যাসিটিক অ্যাসিড}}{CH_3-\underset{OH}{\underset{|}{C}}=O} + PCl_5 \longrightarrow \underset{\text{অ্যাসিটাইল ক্লোরাইড}}{CH_3-\underset{Cl}{\underset{|}{C}}=O} + POCl_3 + HCl$$

অ্যাসিটাইল ক্লোরাইড [B]-কে Pd অনুঘটকের উপস্থিতিতে H_2 দ্বারা বিজারিত করলে **অ্যাসিট্যালডিহাইড** উৎপন্ন হয়। (**রোজেনমান্ড বিক্রিয়া**)। উৎপন্ন অ্যাসিট্যালডিহাইড সেমিকার্বাজাইডের সঙ্গে বিক্রিয়া করে সেমিকার্বাজোন উৎপন্ন করে এবং Zn/HCl দ্বারা বিজারিত হয়ে ইথেনে পরিণত হয় (**ক্লিমেনশন বিজারণ**)। সুতরাং [C] যৌগটি নিঃসন্দেহে অ্যাসিট্যালডিহাইড।

(i) $$\underset{[B]}{CH_3COCl} \xrightarrow[BaSO_4/Pd]{[2H]} \underset{\text{অ্যাসিট্যালডিহাইড [A]}}{CH_3CHO} + HCl$$

(ii) $$CH_3-\underset{H}{\underset{|}{C}}=O + \underset{\text{সেমিকার্বাজাইড}}{H_2N-NHCO-NH_2} \longrightarrow \underset{\text{সেমিকার্বাজোন}}{CH_3-\underset{H}{\underset{|}{C}}=N-NHCONH_2}$$

(iii) $$CH_3CHO \xrightarrow[Zn/HCl]{[4H]} \underset{\text{ইথেন}}{CH_3-CH_3} + H_2O$$

সুতরাং, [A] যৌগ → অ্যাসিটিক অ্যাসিড, CH_3COOH, [B] যৌগ → অ্যাসিটাইল ক্লোরাইড, CH_3COCl,
[C] যৌগ → অ্যাসিট্যালডিহাইড, CH_3CHO.

অনুশীলনী

[A] অতি সংক্ষিপ্ত প্রশ্ন ঃ

1. (i) কার্বনিল যৌগের সাধারণ সংকেত কী? (ii) একটি বিকারকের নাম লেখো যা প্রাইমারি অ্যালকোহলকে জারিত করে প্রথম ধাপ অ্যালডিহাইডে সীমাবদ্ধ রাখে। (iii) রোজেনমান্ড বিজারণ অনুঘটক বিষ হিসাবে কী ব্যবহার করা হয়? (iv) টলেন্স বিকারক জারক না বিজারক দ্রব্য? (v) ফেলিং দ্রবণ অ্যালডিহাইড দ্বারা বিজারিত হয়ে লাল অধঃক্ষেপণ তৈরি করে। অধঃক্ষেপটি কী? (vi) কার্বনিল যৌগকে ক্ষারীয় মাধ্যমে বিজারিত করে অ্যালকেনে পরিণত করা যায় যে বিক্রিয়ায় তার নাম কী? (vii) কার্বনিল যৌগকে Zn/Hg ও গাঢ় HCl দ্বারা বিজারিত করলে কী উৎপন্ন হয়? (viii) ফর্ম্যালডিহাইড ছাড়া অন্য একটি অ্যালিফেটিক অ্যালডিহাইডের নাম লেখো যা ক্যান্নিজারো বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করে। (ix) টিসেঙ্কো বিক্রিয়ায় কী বিকারক ব্যবহার করা হয়? (x) পিনাকল তৈরির জন্য কী বিকারক ব্যবহার করা হয়? (xi) একটি কার্বোক্সিলিক অ্যাসিডের নাম লেখো যা তীব্র বিজারক। (xii) H. V. Z. বিক্রিয়ায় উৎপন্ন জৈব যৌগটি কী ?

2. কী ঘটে সমীকরণসহ লেখো—

(i) অ্যাসিটিক অ্যাসিডের সঙ্গে চুন মিশিয়ে উৎপন্ন পদার্থকে শুষ্ক পাতন করা হল। (ii) অ্যাসিট্যালডিহাইডকে লঘু NaOH দ্রবণের সঙ্গে বিক্রিয়া করানো হল। (iii) অ্যাসিটোনকে Zn-Hg/HCl দ্বারা বিজারিত করা হল। (iv) অ্যাসিটোনের সঙ্গে 2, 4 D.N.P.-এর বিক্রিয়া ঘটানো হলো। (v) অ্যাসিটোনের সঙ্গে PCl_5-এর বিক্রিয়া ঘটানো হল। (vi) NaOH-এর উপস্থিতিতে অ্যাসিটোনকে I_2 সহ উত্তপ্ত করা হল। (vii) অ্যাসিটোনকে ব্যারাইটার সঙ্গে বিক্রিয়ায় উৎপন্ন পদার্থকে উত্তপ্ত করা হল। (viii) ফর্ম্যালডিহাইডকে গাঢ় NaOH দ্রবণ সহ উত্তপ্ত করা হল এবং মিশ্রণকে আম্লিক করা হল। (ix) অ্যাসিটোনের সঙ্গে হাইড্রাজিনের বিক্রিয়ার পর উৎপন্ন পদার্থের সঙ্গে C_2H_5ONa বিক্রিয়া ঘটানো হল। (x) অ্যাসিটোন এবং HCN এর বিক্রিয়ায় উৎপন্ন পদার্থকে অ্যাসিডের উপস্থিতিতে আর্দ্রবিশ্লেষিত করা হল। (xi) ফর্ম্যালডিহাইড এবং CH_3MgI-এর বিক্রিয়ায় উৎপন্ন পদার্থের আর্দ্রবিশ্লেষণ করা হল। (xii) অক্সালিক অ্যাসিড গ্লিসারল সহযোগে 105°C—110°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত করা হল। (xiii) 200°C উষ্ণতায় কস্টিক সোডার গাঢ় দ্রবণের সঙ্গে অতিরিক্ত চাপে CO বিক্রিয়া ঘটানো হল। (xiv) ফর্মিক অ্যাসিডের সঙ্গে অ্যামোনিয়া মিশ্রিত $AgNO_3$- এর বিক্রিয়া ঘটানো হল। (xv) অ্যাসিটিক অ্যাসিডকে পৃথকভাবে থায়োনিল ক্লোরাইড এবং PCl_3 সহ উত্তপ্ত করা হল। (xvi) শুষ্ক অ্যামোনিয়াম অ্যাসিটেটকে 200°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত করা হল।

3. নিম্নলিখিত বিক্রিয়াগুলির প্রধান উৎপাদিত দ্রব্যের (A, B, C, D) রাসায়নিক সংকেত ও নাম লেখো।

(i) $CH_3CHO \xrightarrow[NaOH]{Cl_2} A \xrightarrow{NaOH} B$

(ii) $CH_3COCH_3 \xrightarrow[CH_3COONa]{NH_2NH_2.HCl} A \xrightarrow[180°C]{C_2H_5ONa} B$

(iii) $CH_3COCH_3 \xrightarrow{Cl_2/NaOH} A \xrightarrow{Ag} B \xrightarrow[HgSO_4]{\text{লঘু}/H_2SO_4} C$

(iv) $C_2H_2 \xrightarrow[Hg^{2+}]{\text{লঘু}/H_2SO_4} A \xrightarrow{H_2/Ni} B \xrightarrow[NaOH]{Cl_2} C$

(v) $CH_3COCH_3 \xrightarrow{HNC} A \xrightarrow{H_2O/H^+} B$

4. কীভাবে রূপান্তরিত করবে?

(i) অ্যাসিটোন থেকে অ্যাসিট্যালডিহাইড (ii) 2-বিউটিন থেকে অ্যাসিট্যালডিহাইড (iii) ফর্ম্যালডিহাইড থেকে অ্যাসিট্যালডিহাইড (iv) ফর্ম্যালডিহাইড থেকে অ্যাসিটোন (v) ফর্ম্যালডিহাইড থেকে মিথানল (বিজারক ব্যবহার না করে)। (vi) অ্যাসিটোন থেকে প্রোপাইন (vii) ইথানল থেকে 1, 1-ডাইহাইড্রক্সি মিথেন (viii) অ্যাসিটিলিন থেকে অ্যাসিটোন (ix) ইথানল থেকে ল্যাকটিক অ্যাসিড (x) ফর্মিক অ্যাসিড থেকে অ্যাসিটিক অ্যাসিড (xi) অ্যাসিটিক অ্যাসিড থেকে ফর্মিক অ্যাসিড (xii) অ্যাসিটিক অ্যাসিড থেকে মিথাইল অ্যামিন এবং মিথানল (xiii) অ্যাসিটামাইড থেকে অ্যাসিটোনাইট্রাইল

5. (i) পরীক্ষাগারে অ্যাসিট্যালডিহাইড কীভাবে প্রস্তুত করা হয়? (ii) অ্যাসিট্যালডিহাইডের ব্যবহার লেখো। (iii) অ্যাসিট্যালডিহাইডকে কীভাবে শনাক্ত করা যায়?

6. (i) ফর্ম্যালডিহাইড কীভাবে প্রস্তুত করা হয়? ফর্মালিন কাকে বলে? (ii) ফর্ম্যালডিহাইডের ব্যবহার উল্লেখ করো। (iii) ফর্ম্যালডিহাইডকে কীভাবে শনাক্ত করা যায়?

7. (i) পরীক্ষাগারে ফর্মিক অ্যাসিডের প্রস্তুত প্রণালী বর্ণনা করো—প্রস্তুতির রাসায়নিক বিক্রিয়া লেখো। (ii) ফর্মিক অ্যাসিডকে আংশিক পাতন বা গাঢ় H_2SO_4 দ্বারা শুষ্ক করা যায় না কেন? ফর্মিক অ্যাসিডকে কী ভাবে জলমুক্ত করা হয়? (iii) ফর্মিক অ্যাসিড থেকে কীভাবে অক্সালিক অ্যাসিড পাওয়া যায়?

8. (i) কার্বন মনোক্সাইড থেকে কী উপায়ে ফর্মিক অ্যাসিড উৎপাদন করা যায়? (ii) ফর্মিক অ্যাসিডের ব্যবহার সম্বন্ধে লেখো।

9. (i) গ্লেসিয়াল অ্যাসিটিক অ্যাসিড কাকে বলে? (ii) শিল্পে অ্যাসিটিক অ্যাসিডের প্রধান দুটি ব্যবহার লেখো। (iii) অ্যাসিটিলিন থেকে অ্যাসেটিক অ্যাসিড কীভাবে প্রস্তুত করবে? (iv) অ্যাসিটিক অ্যাসিডের পণ্য উৎপাদন কীভাবে করা হয়?

10. দুটি আইসোমারিক যৌগ A এবং B-এর আণবিক সংকেত C_3H_6O. A-এর মৃদু জারণে একক্ষারী অ্যাসিড C উৎপন্ন হয় যার সংকেত $C_3H_6O_2$. অনুরূপ জারণে B অবিকৃত থাকে, কিন্তু B, NaOH-এর উপস্থিতিতে I_2-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে আয়োডোফর্ম উৎপন্ন করে। A এবং B-তে শনাক্ত করো এবং এদের কী করে প্রস্তুত করা হয় বল। [*Ans.* A = C_2H_5CHO, B = $CH_3CO—CH_3$]

11. দুটি সমাবয়বী জৈব যৌগ (A) এবং (B)-এর সংকেত $C_4H_8O_2$, (A)-এর আর্দ্রবিশ্লেষণে মিথানল এবং একটি অম্ল (C) পাওয়া যায়। অম্ল (C) কার্বন ডাইঅক্সাইড পরিত্যাগ করে ইথেনে পরিণত হয়। (B) এর আর্দ্রবিশ্লেষণে ইথানল ও একটি অম্ল (D) পাওয়া যায়। অম্ল (D) বিজারিত হয়ে ইথানল দেয়। A, B, C এবং D যৌগগুলি কী?

[*Ans.* (A) $CH_3CH_2COOCH_3$, (B) $CH_3COOC_2H_5$, (C) CH_3CH_2COOH, (D) CH_3COOH]

12. A থেকে D পর্যন্ত যৌগগুলি পর্যবেক্ষণ করে নীচের প্রশ্নগুলির উত্তর দাও—

(A) CH_2OH–CH_2OH, (B) CH_3CO_2Na, (C) $(CH_3CO)_2O$ (D) CH_3CHO.

(i) কোনটি $NaHCO_3$ দ্রবণের সঙ্গে বুদবুদ দেয়? (ii) কোনটি ক্ষারীয় $KMnO_4$ দ্বারা জারিত হয়ে একটি কঠিন পদার্থ উৎপন্ন করে? (iii) কোনটি তীব্র তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য? (iv) কোনটি ব্রাডিস বিকারকের সঙ্গে কমলা হলুদ বর্ণের অধঃক্ষেপ দেয়।

[*Ans.* (i)—(C), (ii)—(A), (iii)—(B), (iv)—(D)]

13. রাসায়নিক বিক্রিয়াসহ পার্থক্য করো—

(a) ফর্মিক অ্যাসিড এবং অ্যাসিটিক অ্যাসিড (b) মিথাইল সায়ানাইড এবং মিথাইল আইসোসায়ানাইড (c) অ্যাসিট্যামাইড এবং অ্যাসিটোনাইট্রাইল (d) ফর্ম্যালিডিহাইড এবং অ্যাসিট্যালডিহাইড (e) অ্যাসিট্যালডিহাইড এবং অ্যাসিটোন।

[B] নৈর্ব্যক্তিক প্রশ্ন ঃ

সঠিক উত্তরটি বা উত্তরগুলিকে নির্বাচন করো—

(i) ক্ষারক দ্বারা প্রভাবিত অ্যালডল কনডেনসেশন কোন্‌গুলির ক্ষেত্রে ঘটবে?
(a) প্রোপান্যাল, (b) বেঞ্জালডিহাইড, (c) 2-মিথাইল প্রোপান্যাল, (d) 2, 2-ডাই মিথাইল প্রোপান্যাল। [*Ans.* (a), (c)]

(ii) নীচের কোন্‌টি বা কোন্‌গুলি ক্যান্নিজারো বিক্রিয়া করে না— [*Ans.* (d)]
(a) মিথান্যাল, (b) টাইক্লোরো অ্যাসিট্যালডিহাইড, (c) বেঞ্জালডিহাইড, (d) ইথান্যাল।

(iii) নীচের কোন্‌টি বা কোন্‌গুলির অ্যালডল কনডেনসেশন ঘটে?
(a) ইথান্যাল, (b) বেঞ্জালডিহাইড, (c) ফিনাইল অ্যাসিট্যালডিহাইড, (d) ইথাইল মিথাইল কিটোন। [*Ans.* (a), (c), (d)]

(iv) ক্যালশিয়াম অ্যাসিটেট এবং ক্যালশিয়াম ফর্মেটের মিশ্রণকে পাতন করলে পাওয়া যায়— [*Ans.* (d)]
(a) CH_3COCH_3, (b) CH_3CHO, (c) HCHO, (d) সবগুলি।

(v) টলেন্স বিকারকের সঙ্গে বিক্রিয়া করে— [*Ans.* (a), (b), (d)]
(a) HCHO, (b) CH_3CHO, (c) CH_3COCH_3, (d) HCOOH

(vi) যে বিকারকটি অ্যাসিট্যালডিহাইড এবং অ্যাসিটোন উভয়ের সঙ্গেই বিক্রিয়া করে— [*Ans.* (b)]
(a) ফেলিং দ্রবণ, (b) গ্রিগনার্ড বিকারক, (b) সিফ্ বিকারক, (d) টলেন্স বিকারক।

(vii) গ্রিগনার্ড বিকারক সহজে বিক্রিয়া করে—
(a) কার্বলিন যৌগের সঙ্গে, (b) এস্টারের সঙ্গে, (c) CO_2-এর সঙ্গে, (d) HCN-এর সঙ্গে। [*Ans.* (a), (b), (c), (d)]

(viii) কিটোন থেকে সায়ানোহাইড্রিন গঠন হল নীচের উদাহরণ—
(a) ইলেকট্রোফিলিক যুত বিক্রিয়া, (b) নিউক্লীওফিলিক যুত বিক্রিয়া, (c) নিউক্লীওফ্লিলিক প্রতিস্থাপন বিক্রিয়া, (d) ইলেকট্রো-ফিলিক প্রতিস্থাপন বিক্রিয়া। [*Ans.* (b)]

(ix) ফেলিং দ্রবণের সঙ্গে অ্যাসিট্যালডিহাইড যোগ করলে নীচের কোন্ অধঃক্ষেপটি পাওয়া যায়? [*Ans.* (c)]
(a) Cu, (b) CuO, (c) Cu_2O, (d) Cu + CuO + Cu_2O.

(x) ক্যান্নিজারো বিক্রিয়ায় সাড়া দেয় না— [*Ans.* (b)]
(a) ট্রাই মিথাইল অ্যাসিট্যালডিহাইড, (b) অ্যাসিট্যালডিহাইড, (c) বেঞ্জালডিহাইড, (d) ফর্ম্যালডিহাইড।

6 অ্যারোমেটিক যৌগ [Aromatic Compounds]

6.1. অ্যারোমেটিক যৌগ [Aromatic compounds]

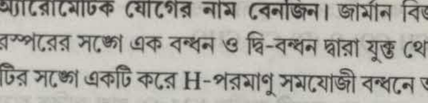
প্রাচীনকাল থেকেই প্রকৃতিজাত বহু যৌগ মানুষ ব্যবহার করে আসছে। এদের মধ্যে এক-শ্রেণির যৌগের গঠন সংকেত অজানা থাকলেও যৌগগুলির মধ্যে একটি ধর্মের মিল ছিল—যৌগগুলি সকলেই সুগন্ধযুক্ত। সেজন্য এই সকল প্রকৃতিজাত সুগন্ধযুক্ত যৌগগুলিকে একত্রে অ্যারোমেটিক যৌগ বলা শুরু হয় (গ্রিক ভাষায় '*aroma*' কথার অর্থ সুগন্ধ)।

পরবর্তীকালে রাসায়নিক বিশ্লেষণে দেখা গেছে যে, এই জাতীয় যৌগে কার্বনের পরিমাণ অ্যালিফ্যাটিক যৌগের তুলনায় বেশি। **সবচেয়ে সরল ও স্থিতিশীল অ্যারোমেটিক যৌগের নাম বেনজিন।** জার্মান বিজ্ঞানী **কেকুলে** (Kekule) প্রমাণ করেন যে, বেনজিনে 6টি কার্বন পরমাণু পরস্পরের সঙ্গে এক বন্ধন ও দ্বি-বন্ধন দ্বারা যুক্ত থেকে একটি সুষম ষড়ভুজের গঠন লাভ করে। এই 6টি কার্বন পরমাণুর প্রত্যেকটির সঙ্গে একটি করে H-পরমাণু সমযোজী বন্ধনে আবদ্ধ থাকে। বেনজিন অণুর এরকম গঠনকে **বেনজিন বলয়** বলা হয়।

বর্তমানে নানা রাসায়নিক পরীক্ষায় দেখা গেছে যে, প্রত্যেক অ্যারোমেটিক যৌগের মধ্যে বেনজিন কিংবা বেনজিনজাত যৌগ পাওয়া যায়। বিভিন্ন বিক্রিয়ার সাহায্যে অ্যারোমেটিক যৌগকে বেনজিনে বা বেনজিনকে বিভিন্ন অ্যারোমেটিক যৌগে পরিণত করা যায়। সেজন্য বেনজিনকে অ্যারোমেটিক যৌগের মূল হাইড্রোকার্বন এবং সমস্ত অ্যারোমেটিক যৌগকে **বেনজিন-সঞ্জাত যৌগ** (derivative of benzene) বলা হয়। বেনজিন থেকে তৈরি বা বেনজিনের সঙ্গে সম্বন্ধবিশিষ্ট জৈব যৌগগুলিকে **অ্যারোমেটিক*** যৌগ বলে। এই কারণে বেনজিন বলয়যুক্ত অ্যারোমেটিক যৌগগুলিকে **বেনজিনয়েড অ্যারোমেটিক যৌগ** (benzenoid aromatic compound) বলা হয়।

অ্যারোমেটিক যৌগগুলি অসম্পৃক্ত, কিন্তু এদের অসম্পৃক্তি সাধারণ ইথিলিনীয় অসম্পৃক্তি থেকে আলাদা এবং বিশেষ ধরনের অসম্পৃক্তির জন্য এই সকল যৌগের ধর্মে বিশিষ্টতা দেখা যায়।

সাধারণত কেকুলের গঠন দিয়েই I অথবা II বেনজিনকে প্রকাশ করা হয়। প্রকৃতপক্ষে বেনজিনের গঠনে এইরকম পর্যায়ক্রমে একবন্ধনী ও দ্বি-বন্ধনী নেই—তাই বর্তমানে বেনজিনকে III অনুযায়ী প্রকাশ করাই অধিক প্রচলিত রীতি।



I II III

রেজোনেন্স হাইব্রিড

6.2. বেনজিন [Benzene (C_6H_6)]

1825 খ্রিস্টাব্দে **মাইকেল ফ্যারাডে** আলোক উৎপাদনের জন্য ব্যবহৃত গ্যাস মিশ্রণের মধ্যে বেনজিনের সন্ধান পেয়ে তা পৃথক করেন। 1845 খ্রিস্টাব্দে বিজ্ঞানী **হফম্যান** আলকাতরার মধ্যে বেনজিনের উপস্থিতি প্রমাণ করেন। আলকাতরা বেনজিনের গুরুত্বপূর্ণ উৎস। খনিজ পেট্রোলিয়ামের মধ্যেও বেনজিন বর্তমান থাকে।

● **আলকাতরার পাতন ও বেনজিন পৃথকীকরণ** (Coal tar distillation and isolation of benzene) ঃ

বিটুমিনাস কয়লাকে বায়ুর অনুপস্থিতিতে 550—600°C তাপমাত্রায় অন্তর্ধূম পাতন করলে কোল গ্যাস (coal gas), আলকাতরা (coal tar), অ্যামোনিয়াক্যাল লিকার (ammoniacal liquor) এবং কোক (coke) পাওয়া যায়। কয়লার অন্তর্ধূম

*বর্তমানে অ্যারোমেটিক যৌগের সংজ্ঞা অনুসারে অ্যারোমেটিক যৌগে বেনজিন বলয়ের উপস্থিতি অপরিহার্য নয়। অ্যারোমেটিক যৌগ বেনজিন বলয়বিহীনও হতে পারে। বিশেষ ইলেকট্রনীয় কাঠামো যুক্ত বৈশিষ্ট্য হলো অ্যারোমেটিক যৌগের কারণ। নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্যযুক্ত জৈব যৌগকে বর্তমানে অ্যারোমেটিক যৌগ বলা হয়। যে জৈব যৌগ অসম্পৃক্ত (এক বা একাধিক দ্বি-বন্ধন পর্যায়ক্রমে বর্তমান থাকে), সমতলীয় বলয়াকৃতি (cyclic, planar) এবং বিজ্ঞানী **হুকেলের তত্ত্ব** (Huckel's rule) অনুযায়ী $(4n + 2)$ সংখ্যক π ইলেকট্রন যুক্ত (যেখানে $n = 0, 1, 2, 3 \cdots$ ইত্যাদি) তাদের অ্যারোমেটিক যৌগ বলে।

পাতনে কালো রঙ-এর চটচটে, ঝাঁঝালো গন্ধযুক্ত যে সান্দ্র তরল পাতিত হয় তাকে **আলকাতরা** (coal tar) বলে। আলকাতরা প্রায় 200 রকম কঠিন ও তরল যৌগের মিশ্রণ—এদের মধ্যে অনেকগুলি হল অ্যারোমেটিক যৌগ। আলকাতরার মধ্যে অতি ক্ষুদ্র কার্বন কণা থাকে তাই এর রঙ কালো। আলকাতরায় প্রশম, ক্ষারীয় ও আম্লিক—সব প্রকারের যৌগই বর্তমান থাকে।

● **আলকাতরার আংশিক পাতন** (Fractional distillation of coal tar) :

কয়লার অন্তর্ধূম পাতনের ফলে প্রাপ্ত আলকাতরা পাতন পাত্রে নিয়ে তাপ প্রয়োগ করে আংশিক পাতন করা হয়। বিভিন্ন উষ্ণতায় যেসব বিভিন্ন তরল পাতিত হয় তাদের নাম, উপাদান ও যে উষ্ণতায় পাতিত হয় তা নীচের সারণিতে দেওয়া হলো।

পাতিত অংশের নাম	উষ্ণতা	শতকরা পরিমাণ	প্রধান উপাদান
(1) লাইট অয়েল (Light oil)	<170°C	5	বেনজিন, টলুইন, জাইলিন, পিরিডিন, থায়োফিন, অ্যানিলিন, ফেনল
(2) মিডল অয়েল বা কার্বলিক অয়েল (Middle oil)	170°—230°C	7·5	ন্যাপথলিন, ফেনল এবং ক্রেসল
(3) ভারী তেল বা হেভি অয়েল (Heavy oil)	230°—270°C	10	ক্রেসল, ন্যাপথলিন, কুইনোলিন
(4) গ্রিন অয়েল বা অ্যানথ্রাসিন অয়েল (Green oil)	270°—360°C	20	অ্যানথ্রাসিন, ফিনানথ্রিন, কার্বাজোল
(5) পিচ	অবশেষ	–57·5	কার্বন

● **আলকাতরা থেকে বেনজিন পৃথকীকরণ** (Isolation of benzene from coal tar) :

(1) আলকাতরার আংশিক পাতন : আলকাতরার আংশিক পাতনে 170°C তাপমাত্রা পর্যন্ত যে পদার্থ পাতিত হয়ে পাত্রে জমা হয় তাকে **লঘু তেল** (Light oil) বলে। এর মধ্যে তিন রকম যৌগ বর্তমান থাকে। **প্রশম : বেনজিন, টলুইন, জাইলিন। ক্ষারীয় : অ্যানিলিন, পিরিডিন। আম্লিক : ফেনল।** এছাড়া সামান্য জল ও থায়োফিন নামে সালফার যৌগ বর্তমান থাকে। লাইট অয়েল থেকেই বেনজিন পৃথকীকরণ করা হয়।

(2) লাইট অয়েল থেকে 90's (বা 90%) বেনজল প্রস্তুতি :

(i) লাইট অয়েলকে আবার আংশিক পাতন করা হয়। এই পাতনে 70°C উষ্ণতার নীচে যেসব পাতিত দ্রব্য পাওয়া যায় সেগুলিকে বর্জন করে, 70°C **উষ্ণতার উপরে প্রাপ্ত পাতিত তরলকে সংগ্রহ করা হয়।**

(ii) এইভাবে যে লাইট অয়েল পাওয়া যায় তাকে প্রথমে গাঢ় H_2SO_4-এর সঙ্গে মিশিয়ে ঝাঁকানো হয়, এর ফলে **অ্যানিলিন, পিরিডিন** প্রভৃতি ক্ষারীয় যৌগগুলি প্রশমিত হয়ে ওদের সালফেট যৌগে পরিণত হয়ে জলীয় দ্রবণে দ্রবীভূত হয় এবং পৃথক তরলের স্তর উৎপন্ন করে—একে বিয়োজী ফানেলের সাহায্যে পৃথক করা হয়। থায়োফিনের কিছু অংশ অ্যাসিডে দ্রবীভূত হয়ে যায়।

(iii) এরপর তরলটির সঙ্গে 10% কস্টিক সোডা দ্রবণ মিশিয়ে ঝাঁকানো হয়। এর ফলে অ্যাসিড জাতীয় **ফেনল** এবং বাড়তি H_2SO_4 প্রশমিত হয়ে তরল থেকে পৃথক হয়। বিয়োজী ফানেলের সাহায্যে এদের পৃথক করে উপরের তরলটিকে সংগ্রহ করা হয়।

(iv) প্রাপ্ত তরলটিকে বার বার জল দিয়ে ধৌত করা হয় এবং এইভাবে ওর মধ্যস্থ অতিরিক্ত ক্ষার দূর করা হয়।

(v) এইভাবে ধৌত যে লাইট অয়েল পাওয়া যায় তাকে শুষ্ক করে আংশিক পাতন করা হয় এবং বিভিন্ন উষ্ণতায় বিভিন্ন অংশ সংগ্রহ করা হয়।

(a) 70°—110°C উষ্ণতার মধ্যে যে তরল পাতিত হয়ে আসে তাকে **90's** বা **90% বেনজল** বলে। 90's বেনজলের মধ্যে 84% **বেনজিন**, 13% **টলুইন** এবং 3% **জাইলিন** থাকে। এই অংশ থেকে বিশুদ্ধ বেনজিন এবং টলুইন প্রস্তুত করা হয়।

(b) 110°—140°C উষ্ণতার মধ্যে যে তরল পাতিত হয়—তাকে **50's** বা **50% বেনজল** বলে। এই অংশের মধ্যে 46% বেনজিন এবং কিছু পরিমাণ টলুইন ও জাইলিন থাকে। এই অংশ থেকে জাইলিন সংগ্রহ করা হয়।

(c) 140°—170°C উষ্ণতার মধ্যে যে অংশ পাতিত হয় তাকে **'দ্রাবক ন্যাপথা'** বলে। এর মধ্যে প্রধানত জাইলিন থাকে।

(3) 90's বেনজলের আংশিক পাতন ঃ 90's বেনজলকে নিয়ে আবার আংশিক পাতন করা হয়। 80°—82°C উষ্ণতার মধ্যে যে দ্রব্য পাতিত হয়ে আসে তার মধ্যে 99% বেনজিন থাকে। বারবার আংশিক পাতন করার পর যে তরল পাওয়া যায় তার উষ্ণতা 5·4°C-এ আনলে বেনজিন কঠিন হয়ে যায়, টলুইন, জাইলিন তরল রূপে বর্তমান থাকে। কঠিন বেনজিনকে সংগ্রহ করে সাধারণ উষ্ণতায় আনলে তরল বেনজিন পাওয়া যায়। এই বেনজিন পুরোপুরি বিশুদ্ধ নয়—এতে খুব সামান্য পরিমাণে থায়োফিন থেকে যায়।

(4) বেনজিন থেকে থায়োফিন দূরীকরণ ঃ বিশুদ্ধ বেনজিন প্রস্তুতি ঃ বেনজিনের স্ফুটনাঙ্ক 80·4°C এবং থায়োফিনের স্ফুটনাঙ্ক 84°C—তাই আংশিক পাতন করে বেনজিন থেকে থায়োফিন পৃথক করা যায় না। প্রাপ্ত সামান্য থায়োফিন মিশ্রিত বেনজিনকে প্রথমে ঠান্ডা এবং গাঢ় H_2SO_4 সহ ঝাঁকানো হয়। এর ফলে থায়োফিন ঠান্ডা এবং গাঢ় H_2SO_4-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে থায়োফিন সালফোনিক অ্যাসিডে পরিণত হয়, বেনজিন কিন্তু ঠান্ডা অবস্থায় H_2SO_4-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে না—অপরিবর্তিত থাকে। এইভাবে উৎপন্ন হলুদ বর্ণের থায়োফিন সালফোনিক অ্যাসিড, H_2SO_4-এ দ্রবীভূত হয়ে হলুদ বর্ণের পৃথক অ্যাসিড স্তর গঠন করে। এই অ্যাসিড স্তরকে পৃথক করে বেনজিন থেকে থায়োফিন দূর করা হয়। এই প্রক্রিয়াটি কয়েকবার সম্পাদন করা হয়। ঠান্ডা H_2SO_4 সহ ঝাঁকাবার পর যদি অ্যাসিড স্তর হলুদ বর্ণের না হয় তাহলে বুঝতে হবে বেনজিন থেকে থায়োফিন সম্পূর্ণভাবে অপসারিত হয়েছে। অ্যাসিড স্তরকে পৃথক করে প্রাপ্ত বেনজিনকে জল দ্বারা ধৌত করার পর গলিত $CaCl_2$ দ্বারা শুষ্ক করে আবার পাতন করলে বিশুদ্ধ বেনজিন পাতিত হয়।

[বেনজিনকে নির্জল বেনজিনে পরিণত করতে ধাতব সোডিয়াম ব্যবহার করা হয়। উপরিউক্ত উপায়ে প্রাপ্ত বেনজিনে ধাতব সোডিয়ামের তার যোগ করে পাত্রের মুখ ভালোভাবে এঁটে রাখলে নির্জল বেনজিন পাওয়া যায়।]

[**দ্বিতীয় পদ্ধতি ঃ** অল্প পরিমাণ থায়োফিন মিশ্রিত বেনজিনকে মারকিউরিক অ্যাসিটেট সহ ফোটালে থায়োফিনের সঙ্গে মারকিউরিক অ্যাসিটেটের বিক্রিয়ায় একটি জটিল যৌগ উৎপন্ন হয় যা সাদা অধঃক্ষেপ রূপে পৃথক হয়। অধঃক্ষেপ ছেঁকে বেনজিন থেকে পৃথক করা হয়। প্রাপ্ত বেনজিনকে জল দিয়ে ধৌত করার পর গলিত $CaCl_2$ দ্বারা শুষ্ক করে পাতিত করলে থায়োফিন মুক্ত বেনজিন পাওয়া যায়। উৎপন্ন সাদা অধঃক্ষেপের সঙ্গে HCl যোগ করে পাতিত করলে থায়োফিন ফিরে পাওয়া যায়। এই পদ্ধতিতে থায়োফিন নষ্ট হয় না, এর পুনরুদ্ধার সম্ভব।]

● **বেনজিনে থায়োফিনের উপস্থিতি পরীক্ষা ঃ (i)** বেনজিন নমুনাটির সঙ্গে ইসাটিন জৈব যৌগ এবং H_2SO_4 যোগ করলে মিশ্রণের রঙ নীল বর্ণে পরিণত হলে বুঝতে হবে যে নমুনা বেনজিনে থায়োফিন আছে। সামান্য পরিমাণ থায়োফিনও এই পরীক্ষায় সাড়া দেয়। **(ii)** নমুনা বেনজিনের সঙ্গে ঠান্ডা ও গাঢ় H_2SO_4 যোগ করে ঝাঁকিয়ে রেখে দিলে দুটি তরল স্তরের সৃষ্টি হয়। নীচের স্তরটি হলুদ বর্ণের হলে বুঝতে হবে নমুনা বেনজিনে থায়োফিন আছে।

● **বেনজিন প্রস্তুতির অন্যান্য পদ্ধতি** (Other methods of preparation of benzene) ঃ

(1) অ্যাসিটিলিন থেকে ঃ অ্যাসিটিলিন গ্যাসকে লোহিততপ্ত (600°C) তামার নলের মধ্য দিয়ে চালনা করলে 3 অণু অ্যাসিটিলিন পলিমেরাইজ করে বেনজিন উৎপন্ন করে।

$$3C_2H_2 \xrightarrow[600°C]{\text{Cu নল}} C_6H_6$$

এই পদ্ধতিতে কোনো অ্যালিফ্যাটিক যৌগ অ্যাসিটিলিনকে অ্যারোমেটিক যৌগ বেনজিনে পরিণত করা হয়।

(2) সোডিয়াম বেনজোয়েট থেকে ঃ সোডিয়াম বেনজোয়েটকে সোডালাইম সহ পাতিত করলে বেনজিন পাওয়া যায়।

$$C_6H_5COONa + NaOH \xrightarrow[\Delta]{CaO} C_6H_6 + Na_2CO_3$$

(3) ফেনলকে জিঙ্ক চূর্ণের সঙ্গে মিশিয়ে পাতন করলে বেনজিন উৎপন্ন হয়।

$$C_6H_5OH + Zn \xrightarrow{\text{তাপ}} C_6H_6 + ZnO$$

6.3. বেনজিনের ধর্ম ও বিক্রিয়া [Properties and reactions of Benzene]

[A] ভৌত ধর্ম (Physical properties) ঃ বেনজিন নিজস্ব গন্ধযুক্ত বর্ণহীন বিষাক্ত তরল পদার্থ। বেনজিনকে ঠান্ডা করলে কেলাসাকার কঠিনে পরিণত হয়। বেনজিনের স্ফুটনাঙ্ক 80·5°C এবং হিমাঙ্ক 5·4°C। জলে অদ্রাব্য, ইথার ও অ্যালকোহলে সম্পূর্ণ দ্রাব্য। বেনজিন অত্যন্ত দাহ্য, কার্বনের পরিমাণ বেশি থাকায় জ্বলার সময় প্রচুর ঝুল উৎপন্ন হয়।

[B] রাসায়নিক ধর্ম (Chemical properties) :

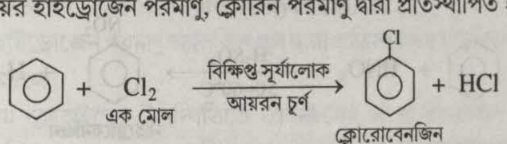
বেনজিনে তিনটি দ্বি-বন্ধন থাকা সত্ত্বেও বেনজিনের অসম্পৃক্তি অন্যান্য অসম্পৃক্ত হাইড্রোকার্বনের অসম্পৃক্তি থেকে ভিন্ন। বেনজিন, শীতল অবস্থায় ক্ষারীয় $KMnO_4$-এর গোলাপি বর্ণ বর্ণহীন করতে পারে না, ব্রোমিনের সঙ্গে বিক্রিয়ায় ব্রোমিনের বর্ণ বর্ণহীন করতে পারে না এবং হ্যালোজেন অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়া করে না। বেনজিন সহজে জারিত হয় না এবং সম্পৃক্ত যৌগের মতো বেনজিন সহজেই প্রতিস্থাপন বিক্রিয়া করে। বেনজিনে অসম্পৃক্তি থাকা সত্ত্বেও অ্যারোমেটিক ধর্মের জন্য বেনজিন ও বেনজিন সঞ্জাত যৌগগুলি অনেক বেশি সুস্থিত। বেনজিন সাধারণ অবস্থায় যুত বিক্রিয়া করে না, কারণ যুত বিক্রিয়ার ফলে বেনজিনের অ্যারোমেটিক ধর্ম নষ্ট হয়ে যায়, ফলে স্থায়িত্ব কমে যায়। বেনজিন বা অন্য অ্যারোমেটিক যৌগ সহজেই প্রতিস্থাপন বিক্রিয়া করে। প্রতিস্থাপন বিক্রিয়ায় বেনজিন বলয়ের H-পরমাণু বিভিন্ন পরমাণু বা মূলক দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে যৌগ গঠন করে। এই বিক্রিয়ায় বেনজিন বলয়ের ইলেকট্রনীয় গঠনের বা অ্যারোমেটিক ধর্মের পরিবর্তন হয় না। এইজন্য বেনজিন বা অ্যারোমেটিক যৌগ সহজে যুত বিক্রিয়া করে না কিন্তু প্রতিস্থাপন বিক্রিয়া করে।

6.4. বেনজিনের প্রতিস্থাপন বিক্রিয়া [Substitution reactions of Benzene]

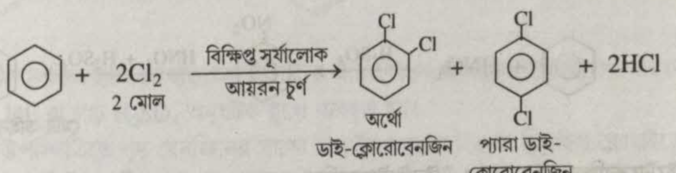
(1) হ্যালোজেনেশন (Halogenation) :

বেনজিন বলয়ে 6টি হাইড্রোজেন পরমাণুই অভিন্ন ও সদৃশ। এজন্যই বেনজিনের যে-কোনো একটি হাইড্রোজেন পরমাণু কোনো প্রতিস্থাপক দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে সর্বদা একই যৌগ উৎপন্ন হয়।

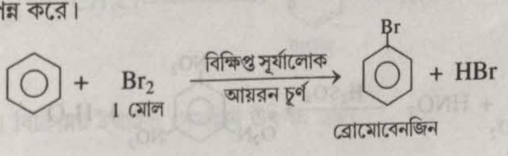
(*a*) ক্লোরিনেশন (Chlorination) : সাধারণ তাপমাত্রায় বিক্ষিপ্ত সূর্যালোকে, অনুঘটক হিসাবে কোনো হ্যালোজেন বাহক (halogen carrier)—যেমন আয়রন চূর্ণ বা অ্যালুমিনিয়াম ক্লোরাইড অথবা আয়োডিনের উপস্থিতিতে বেনজিনের মধ্যে ক্লোরিন গ্যাস চালনা করলে বেনজিন বলয়ের হাইড্রোজেন পরমাণু, ক্লোরিন পরমাণু দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে ক্লোরোবেনজিন উৎপন্ন হয়।



বেনজিন বলয়ের কটি H পরমাণু Cl দ্বারা প্রতিস্থাপিত হবে তা ক্লোরিনের পরিমাণের উপর নির্ভর করে। যেমন, 1 মোল ক্লোরিন ব্যবহার করলে মনোক্লোরোবেনজিন উৎপন্ন হয়। 2 মোল ক্লোরিন ব্যবহার করে অনেকক্ষণ ধরে বিক্রিয়া ঘটালে প্রধানত অর্থো ও প্যারা ডাই-ক্লোরোবেনজিনের মিশ্রণ পাওয়া যায়। অনুরূপভাবে ট্রাইক্লোরো, টেট্রাক্লোরো বেনজিন ইত্যাদি উৎপন্ন করা যায়।



(*b*) ব্রোমিনের সঙ্গে : ক্লোরিনের মতো ব্রোমিনও আয়রন চূর্ণ বা অ্যালুমিনিয়াম ব্রোমাইডের উপস্থিতিতে বেনজিনের সঙ্গে বিক্রিয়া করে ব্রোমোবেনজিন উৎপন্ন করে।



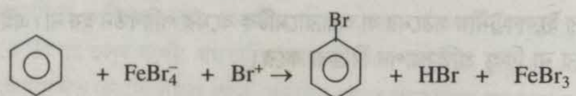
(*c*) আয়োডিনের সঙ্গে : বেনজিনের সঙ্গে I_2 এবং গাঢ় HNO_3 মিশিয়ে সেই মিশ্রণকে রিফ্লাক্স করলে, বেনজিনের একটি H পরমাণু আয়োডিন পরমাণু দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে আয়োডোবেনজিন উৎপন্ন করে।

$$C_6H_6 + I_2 \xrightarrow{HNO_3} \underset{\text{আয়োডোবেনজিন}}{C_6H_5I} + HI$$

● বেনজিনে ব্রোমিনের দ্রবণ অনির্দিষ্টকাল ব্যাপী স্থায়ী। কিন্তু দ্রবণে একটি লোহার পেরেক রাখলে বেনজিনের ব্রোমিনীকরণ দ্রুতগতিতে হতে থাকবে—ব্যাখ্যা করো।

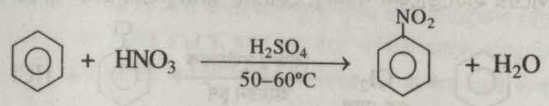
Ans. বেনজিন অণুতে ইথিলনীয় অসম্পৃক্তি নেই, তাই বেনজিন Br_2-এর সঙ্গে যুত বিক্রিয়া করে না। আবার বেনজিনের সঙ্গে শুধু Br_2-এর প্রতিস্থাপন বিক্রিয়াও হয় না। এই জন্য বেনজিনে Br_2-এর দ্রবণ অনির্দিষ্ট কালের জন্য স্থায়ী। কিন্তু দ্রবণে আয়রন চূর্ণ বা একটি লোহার পেরেক যোগ করলে, লোহা ব্রোমিনের বাহক রূপে কাজ করে। ফলে লোহার উপস্থিতিতে Br_2-এর সঙ্গে বেনজিনের দ্রুত বিক্রিয়া ঘটে বর্ণহীন ব্রোমোবেনজিনে পরিণত হয়।

$$Fe + 3Br_2 \rightarrow 2FeBr_3, \qquad FeBr_3 + Br_2 \rightarrow FeBr_4^- + Br^+$$



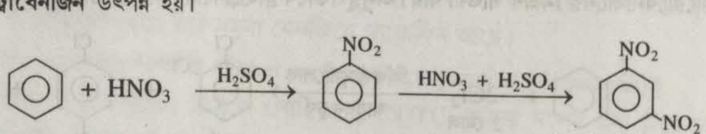
(2) নাইট্রেশন (Nitration) ঃ এই বিক্রিয়ায় বেনজিনের হাইড্রোজেন পরমাণু নাইট্রো গ্রুপ দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়। সাধারণত গাঢ় HNO_3 ও গাঢ় H_2SO_4-এর (1 ঃ 1) মিশ্রণ দ্বারা নাইট্রেশন বিক্রিয়া ঘটানো হয়। এই মিশ্রণকে **মিশ্র অ্যাসিড (mixed acid)** বলে।

বেনজিনকে গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিড ও গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড মিশ্রণ (মিশ্র অ্যাসিড) সহযোগে 50°C থেকে 60°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করলে বেনজিনের হাইড্রোজেন পরমাণু নাইট্রো (NO_2) গ্রুপ দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে নাইট্রোবেনজিন উৎপন্ন হয়।



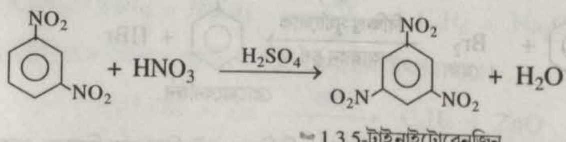
নাইট্রোবেনজিন

● ডাইনাইট্রোবেনজিন ঃ বেনজিনকে গাঢ় HNO_3 ও গাঢ় H_2SO_4 মিশ্রণ বা ধূমায়মান HNO_3 ও গাঢ় H_2SO_4 মিশ্রণ সহযোগে ফুটন্ত জলগাহে (80°C—100°C) উত্তপ্ত করলে মেটা-ডাইনাইট্রোবেনজিন উৎপন্ন হয়। প্রথমে উৎপন্ন নাইট্রোবেনজিন পুনরায় নাইট্রেশনের ফলে—**মেটা-ডাইনাইট্রোবেনজিন** উৎপন্ন হয়।



মেটা-ডাইনাইট্রোবেনজিন

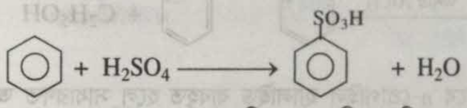
● ট্রাইনাইট্রোবেনজিন (T.N.B) ঃ ট্রাইনাইট্রোবেনজিন সহজে হয় না। তৃতীয় নাইট্রো গ্রুপ বেনজিন বলয়ে প্রবেশ করানো কষ্টসাধ্য। বেনজিনকে ধূমায়মান নাইট্রিক অ্যাসিড ও ধূমায়মান সালফিউরিক অ্যাসিড সহযোগে পাঁচদিন ধরে রিফ্লাক্স করলে 1, 3, 5-ট্রাইনাইট্রোবেনজিন উৎপন্ন হয়। মেটা ডাইনাইট্রোবেনজিনের পুনরায় নাইট্রেশনের ফলে 1, 3, 5-ট্রাইনাইট্রোবেনজিন উৎপন্ন হয়।



1,3,5-ট্রাইনাইট্রোবেনজিন

(3) সালফোনেশন (Sulphonation) ঃ যে বিক্রিয়ায় কোনো জৈব যৌগের হাইড্রোজেন পরমাণু সালফোনিক অ্যাসিড (SO_3H) গ্রুপ দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয় তাকে সালফোনেশন বিক্রিয়া বলে। সাধারণত গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড, ধূমায়মান সালফিউরিক অ্যাসিড, ওলিয়াম বা ক্লোরোসালফোনিক ($ClSO_3H$) অ্যাসিড দ্বারা সালফোনেশন বিক্রিয়া ঘটানো হয়।

বেনজিন ও গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের মিশ্রণকে 80°C তাপমাত্রায় বালিগাহে প্রায় 8 ঘন্টা ধরে উত্তপ্ত করলে **বেনজিন সালফোনিক অ্যাসিড** উৎপন্ন হয়।



বেনজিন সালফোনিক অ্যাসিড

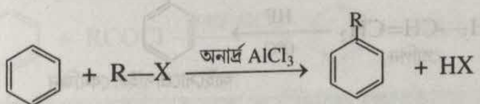
ধূমায়মান সালফিউরিক অ্যাসিডের সঙ্গে সাধারণ তাপমাত্রায় বেনজিনের বিক্রিয়ায় বেনজিন সালফোনিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।

(4) ফ্রিডেল-ক্র্যাফ্টস বিক্রিয়া (Friedel-Crafts Reaction) ঃ এই বিক্রিয়া দ্বারা বেনজিন বলয়ে প্রত্যক্ষভাবে অ্যালকিল বা অ্যাসাইল গ্রুপ প্রবেশ করানো যায়। এইজন্য অ্যারোমেটিক যৌগের ক্ষেত্রে এটি অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ বিক্রিয়া। অনুঘটকের উপস্থিতিতে বেনজিনের সঙ্গে অ্যালকিল হ্যালাইড বা অ্যাসাইল হ্যালাইড-এর যে বিক্রিয়ায় বেনজিন বলয়ের হাইড্রোজেন পরমাণু অ্যালকিল বা অ্যাসাইল গ্রুপ দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয় তাকে ফ্রিডেল-ক্র্যাফ্টস বিক্রিয়া বলে। বেনজিন ছাড়া, অন্যান্য অ্যারোমেটিক হাইড্রোকার্বন, অ্যারাইল হ্যালাইড, ফেনল প্রভৃতি যৌগগুলি এই বিক্রিয়ায় সাড়া দেয়। অনুঘটকরূপে লুইস অ্যাসিড (যেমন ঃ $AlCl_3$, BF_3, $FeCl_3$, $ZnCl_2$) বা অজৈব অ্যাসিড (যেমন ঃ HF, H_2SO_4, H_3PO_4) ব্যবহৃত হয়। অনার্দ্র অ্যালুমিনিয়াম ক্লোরাইড ফ্রিডেল-ক্র্যাফ্টস বিক্রিয়ায় উৎকৃষ্ট অনুঘটক। অনার্দ্র $AlCl_3$ ব্যবহার করলে বিক্রিয়াটি সম্পূর্ণ শুষ্ক অবস্থায় ঘটাতে হবে, কারণ $AlCl_3$ জলের সঙ্গে সহজেই বিক্রিয়া করে আর্দ্রবিশ্লেষিত হয়। নাইট্রোবেনজিন বা কার্বন ডাইসালফাইড এই বিক্রিয়ায় দ্রাবক হিসাবে ব্যবহৃত হয়।

(a) ফ্রিডেল-ক্র্যাফ্টস অ্যালকিলেশন (Friedel-Crafts Alkylation) ঃ

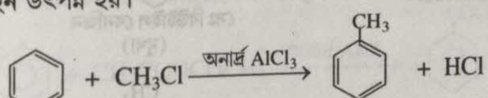
যে বিক্রিয়ায় বেনজিন বলয়ের হাইড্রোজেন পরমাণু অ্যালকিল গ্রুপ দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে অ্যালকিল বেনজিন উৎপন্ন হয় তাকে **ফ্রিডেল-ক্র্যাফ্টস অ্যালকিলেশন** বলে।

সাধারণত অনার্দ্র অ্যালুমিনিয়াম ক্লোরাইডের উপস্থিতিতে বেনজিনের সঙ্গে অ্যালকিল হ্যালাইডের বিক্রিয়ায় বেনজিন বলয়ের হাইড্রোজেন পরমাণু অ্যালকিল গ্রুপ দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে অ্যালকিল বেনজিন উৎপন্ন হয়।



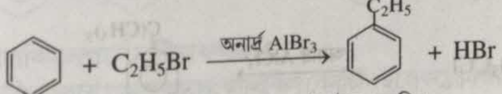
অ্যালকিলেটিং বিকারক হিসাবে অ্যালকিল হ্যালাইড ছাড়া অ্যালিফ্যাটিক অ্যালকোহল, অ্যালকিন ব্যবহার করা যায়। অ্যালকোহল ও অ্যালকিন ব্যবহার করলে BF_3, HF বা গাঢ় H_2SO_4 অনুঘটক রূপে ব্যবহৃত হয়।

(i) অনার্দ্র $AlCl_3$ অনুঘটকের উপস্থিতিতে শুষ্ক বেনজিনের সঙ্গে মিথাইল আয়োডাইড বা মিথাইল ক্লোরাইডের বিক্রিয়ায় মিথাইল বেনজিন অর্থাৎ **টলুইন** উৎপন্ন হয়।



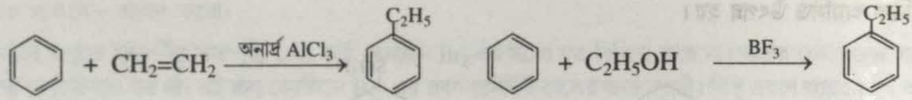
টলুইন

(ii) ইথাইল ব্রোমাইডের সঙ্গে বিক্রিয়ায় **ইথাইল বেনজিন** উৎপন্ন হয়।

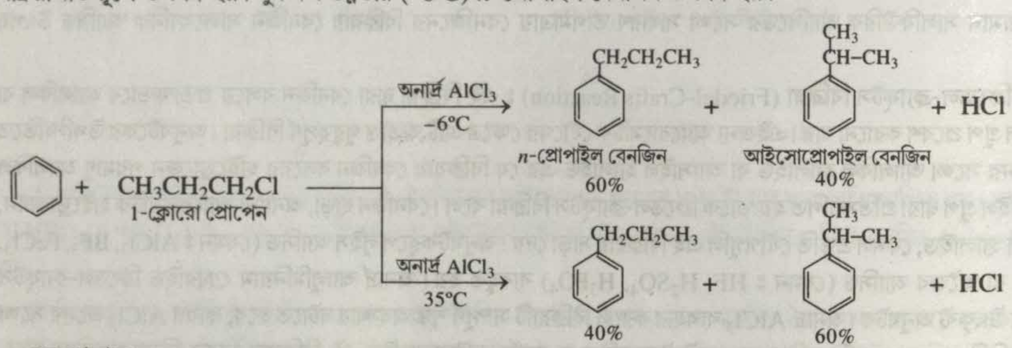


ইথাইল বেনজিন

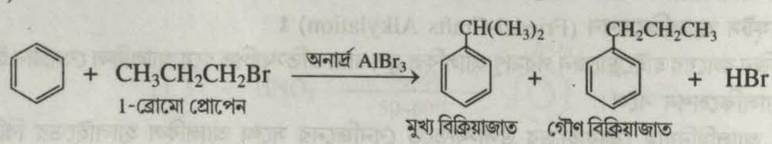
ইথিলিন বা ইথানল ব্যবহার করেও ইথাইল বেনজিন প্রস্তুত করা যায়।

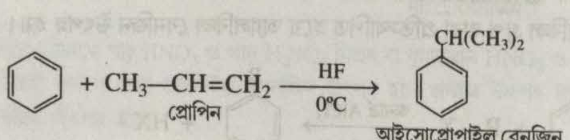


(iii) অ্যালকিলেটিং বিকারক হিসাবে *n*-প্রোপাইল হ্যালাইড ব্যবহৃত হলে সাধারণত **আইসোপ্রোপাইল বেনজিন** মুখ্য বিক্রিয়াজাত রূপে উৎপন্ন হয়। খুব কম উষ্ণতায় (–6ºC) *n*-প্রোপাইল বেনজিন উৎপন্ন হয়।

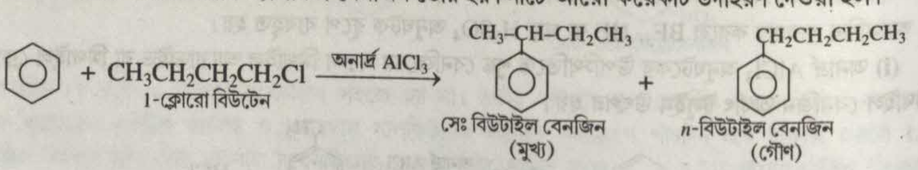


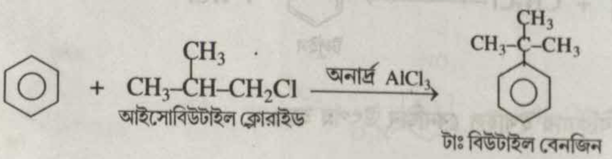
অনুরূপভাবে,

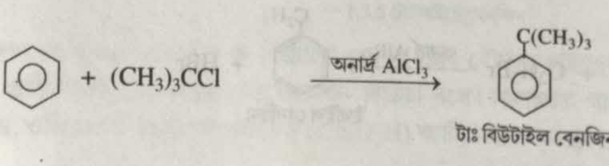


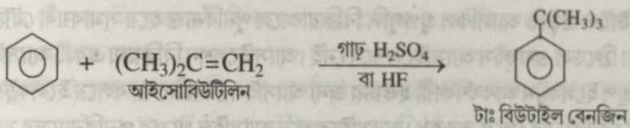


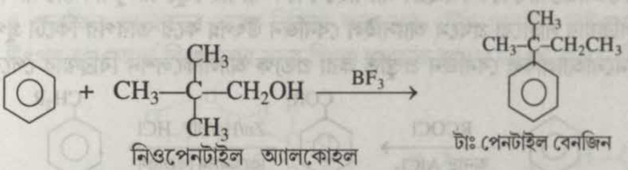
● **ইথাইল হ্যালাইডের বেশি কার্বনযুক্ত অ্যালকিল হ্যালাইডের ক্ষেত্রে অ্যালকিল গ্রুপের পুনর্বিন্যাস হয় ফলে** *n*-**অ্যালকিল** বেনজিনের পরিবর্তে সেকেন্ডারি বা টারসিয়ারি অ্যালকিল বেনজিন তৈরি হয়। নীচে আরো কয়েকটি উদাহরণ দেওয়া হল।











● **অনার্দ্র $AlCl_3$-এর উপস্থিতিতে অ্যালকিল পলিহ্যালাইড (মিথিলিন ক্লোরাইড, ক্লোরোফর্ম ও কার্বন টেট্রাক্লোরাইড) এবং বেনজিন ফ্রিডেল-ক্র্যাফ্টস বিক্রিয়া করে।**

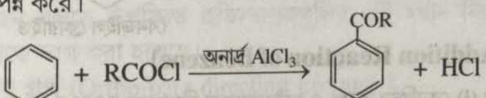
$$2C_6H_6 + CH_2Cl_2 \xrightarrow{\text{অনার্দ্র } AlCl_3} (C_6H_5)_2CH_2 + 2HCl$$
ডাইফিনাইল মিথেন

$$3C_6H_6 + CHCl_3 \xrightarrow{\text{অনার্দ্র } AlCl_3} (C_6H_5)_3CH + 3HCl$$
ট্রাইফিনাইল মিথেন

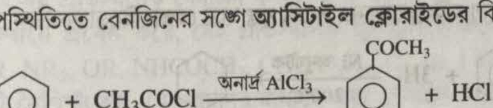
$$3C_6H_6 + CCl_4 \xrightarrow[\Delta]{\text{অনার্দ্র } AlCl_3} (C_6H_5)_3CCl + 3HCl$$
ট্রাইফিনাইল মিথাইল ক্লোরাইড

(5) ফ্রিডেল-ক্র্যাফ্টস অ্যাসাইলেশন (Friedel-Crafts Acylation) **:**

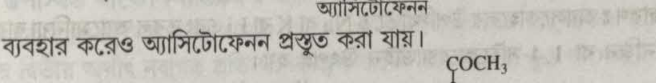
এই বিক্রিয়ায় অনার্দ্র অ্যালুমিনিয়াম ক্লোরাইডের উপস্থিতিতে বেনজিনের সঙ্গে **অ্যাসাইল ক্লোরাইড বা অ্যাসিড অ্যানহাইড্রাইডের** বিক্রিয়ায় বেনজিন বলয়ের হাইড্রোজেন পরমাণু **অ্যাসাইল** গ্রুপ দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে **অ্যাসাইল বেনজিন** (অ্যারোমেটিক কিটোন) উৎপন্ন করে।



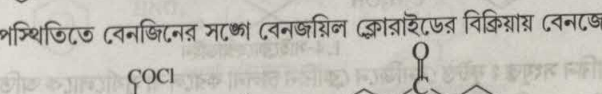
(i) অনার্দ্র $AlCl_3$-এর উপস্থিতিতে বেনজিনের সঙ্গে **অ্যাসিটাইল ক্লোরাইডের** বিক্রিয়ায় **অ্যাসিটোফেনন** উৎপন্ন হয়।



অ্যাসিটিক অ্যানহাইড্রাইড ব্যবহার করেও অ্যাসিটোফেনন প্রস্তুত করা যায়।



(ii) অনার্দ্র $AlCl_3$-এর উপস্থিতিতে বেনজিনের সঙ্গে বেনজয়িল ক্লোরাইডের বিক্রিয়ায় বেনজোফেনন উৎপন্ন হয়।

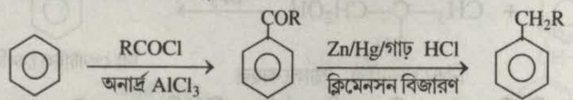


● **ফ্রিডেল-ক্র্যাফ্টস অ্যালকিলেশনের সীমাবদ্ধতা ঃ**

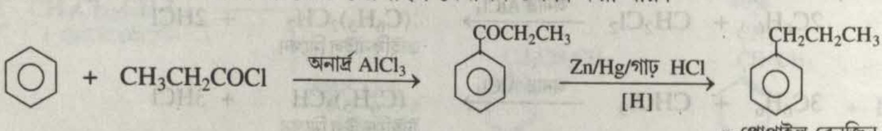
(i) একটি অ্যালকিল গ্রুপ বেনজিন বলয়ে প্রবেশ করলে, অ্যালকিল বেনজিন ইলেকট্রোফিলিক প্রতিস্থাপন বিক্রিয়ায় বেনজিন থেকে অধিকতর সক্রিয় হয়। ফলে পরবর্তী অ্যালকিল গ্রুপ বেনজিন বলয়ের পরিবর্তে অ্যালকিল বেনজিন বলয়ে প্রতিস্থাপিত হয়। সেজন্য প্রতিস্থাপিত অ্যালকিল গ্রুপের সংখ্যা নিয়ন্ত্রণ করা যায় না, ফলে পলিঅ্যালকিল (একাধিক অ্যালকিল গ্রুপ) বেনজিন উৎপন্ন হয়।

(ii) n-প্রোপাইল, n-বিউটাইল প্রভৃতি অ্যালকিল গ্রুপগুলি বিক্রিয়াকালে পুনর্বিন্যস্ত হয়ে সমাবয়বী যৌগের মিশ্রণ উৎপন্ন করে। এই অসুবিধা বা সীমাবদ্ধতা ফ্রিডেল-ক্র্যাফ্টস অ্যাসাইলেশনে নেই। অ্যাসাইলেশন বিক্রিয়ায় একটিই অ্যাসাইল গ্রুপই বেনজিন বলয়ে প্রবেশ করে। কারণ অ্যাসাইল গ্রুপ ইলেকট্রন আকর্ষণকারী হওয়ার জন্য অ্যাসাইল বেনজিনের বলয়ে ইলেকট্রনের ঘনত্ব কমে যায় ফলে প্রতিস্থাপন বিক্রিয়ায় সক্রিয়তা বেনজিনের থেকে কম হয়। অ্যাসাইলেশনে অ্যাসাইল গ্রুপের পুনর্বিন্যাসের সম্ভাবনাও থাকে না।

এইজন্য অ্যাসাইলেশন বিক্রিয়ার সাহায্যে প্রথমে অ্যাসাইল বেনজিন উৎপন্ন করে তারপর কিটো গ্রুপকে ক্লিমেনসন বিজারণ পদ্ধতি দ্বারা বিজারিত করে মনোঅ্যালকিল বেনজিন প্রস্তুতি করা প্রত্যক্ষ অ্যালকিলেশন বিক্রিয়ার থেকে শ্রেয়তর পদ্ধতি।

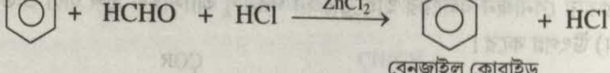


যেমন ঃ বেনজিন ও n-প্রোপাইল ক্লোরাইড বিক্রিয়ায় মুখ্য বিক্রিয়াজাত পদার্থ হিসেবে আইসোপ্রোপাইল বেনজিন উৎপন্ন করে। কিন্তু অ্যাসাইলেশন ও তারপর বিজারণ ঘটিয়ে n-প্রোপাইল বেনজিন উৎপন্ন করা যায়।



n-প্রোপাইল বেনজিন

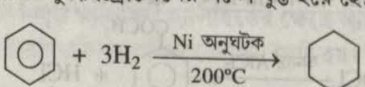
(6) ক্লোরোমিথাইলেশন (Chloromethylation) ঃ বেনজিন বলয়ের হাইড্রোজেন পরমাণুকে প্রত্যক্ষভাবে ক্লোরোমিথাইল (CH_2Cl) গ্রুপ দ্বারা প্রতিস্থাপনের বিক্রিয়াকে ক্লোরোমিথাইলেশন বলে। অনুঘটকরূপে $ZnCl_2$-এর উপস্থিতিতে বেনজিনকে ফর্ম্যালডিহাইড ও HCl সহযোগে উত্তপ্ত করলে বেনজিন বলয়ের হাইড্রোজেন পরমাণু ক্লোরোমিথাইল গ্রুপ দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে বেনজাইল ক্লোরাইড উৎপন্ন করে।



বেনজাইল ক্লোরাইড

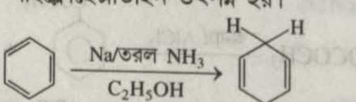
6.5. বেনজিনের যুত-বিক্রিয়া [Addition Reaction of Benzene]

(1) বিজারণ—হাইড্রোজেন সংযুক্তি ঃ (i) বেনজিন বাষ্প ও হাইড্রোজেন মিশ্রণকে 200°C তাপমাত্রায় নিকেল চূর্ণ অনুঘটকের উপর দিয়ে চালনা করলে বেনজিন 3 অণু হাইড্রোজেনের সঙ্গে যুক্ত হয়ে হেক্সাহাইড্রোবেনজিন বা সাইক্লোহেক্সেন উৎপন্ন হয়।



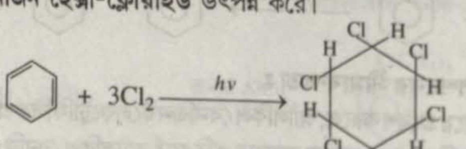
সাইক্লোহেক্সেন

(ii) বার্চের বিজারণ ঃ অ্যালকোহলের উপস্থিতিতে Na বা K বা Li এবং তরল অ্যামোনিয়া দ্বারা বেনজিনকে বিজারিত করলে 1,4-ডাইহাইড্রোবেনজিন বা 1,4-সাইক্লোহেক্সাডাইন উৎপন্ন হয়।



1,4-সাইক্লোহেক্সাডাইন

(2) ক্লোরিনেশন-ক্লোরিন সংযুক্ত ঃ ফুটন্ত বেনজিনে ক্লোরিন চালনা করলে বা সূর্যালোকে অতিবেগুনি রশ্মির প্রভাবে, ক্লোরিন বেনজিনের সঙ্গে যুত যৌগ **বেনজিন হেক্সা-ক্লোরাইড** উৎপন্ন করে।

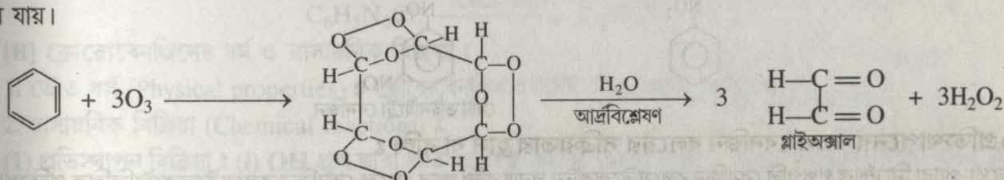


বেনজিন হেক্সা-ক্লোরাইড

বেনজিন হেক্সাক্লোরাইড অনেকগুলি সমাবয়বী হিসাবে থাকে। এর মধ্যে একটি (γ-আইসোমার) **গ্যামাক্সিন** নামে পরিচিত। গ্যামাক্সিন কীটনাশক হিসাবে ব্যবহৃত হয়।

ব্রোমিন, ক্লোরিনের মতোই হেক্সাব্রোমোবেনজিন বা বেনজিন হেক্সাব্রোমাইড উৎপন্ন করে। আয়োডিন এইরকম যুত যৌগ উৎপন্ন করে না। $C_6H_6 + 3Br_2 \longrightarrow C_6H_6Br_6$

(3) ওজোন সংযুক্তি ঃ বেনজিন ওজোনের সঙ্গে বিক্রিয়া করে যুত যৌগ বেনজিন ট্রাইওজোনাইড উৎপন্ন করে। এর আর্দ্রবিশ্লেষণে গ্লাইঅক্সাল উৎপন্ন হয়। আর্দ্র বিশ্লেষণের সময় জিঙ্ক ব্যবহার করলে উৎপন্ন H_2O_2 বিজারিত হয়ে জলে পরিণত হয়ে যায়।



6.6. বেনজিন বলয়ে প্রতিস্থাপন বিক্রিয়ায় প্রতিস্থাপকের স্থান নির্দেশক প্রভাব [Directive influence of substituents in substitution reaction of Benzene ring]

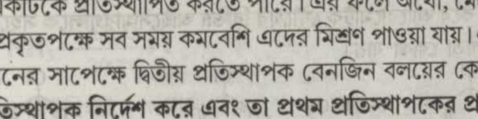
বেনজিন বলয়ে 6টি হাইড্রোজেন **পরমাণুই অভিন্ন ও সদৃশ অর্থাৎ সমতুল্য**। সেজন্য বেনজিন বলয়ের যে-কোনো একটি হাইড্রোজেন পরমাণু কোনো পরমাণু বা গ্রুপ দিয়ে প্রতিস্থাপিত করলে সর্বদা একই অর্থাৎ একটি মাত্র মনোপ্রতিস্থাপিত বেনজিন যৌগ তৈরি হয়। **মনোপ্রতিস্থাপিত বেনজিনে যে পাঁচটি হাইড্রোজেন পরমাণু থাকে তারা কিন্তু সমতুল্য নয়।** এখন মনোপ্রতিস্থাপিত বেনজিনে যদি দ্বিতীয় কোনো পরমাণু বা গ্রুপ প্রতিস্থাপিত হয় তখন দ্বিতীয় প্রতিস্থাপকটি অসমতুল্য পাঁচটি হাইড্রোজেন পরমাণুর যে-কোনো একটিকে প্রতিস্থাপিত করতে পারে। এর ফলে অর্থো, মেটা এবং প্যারা—এই তিনটি সমাবয়ব বা আইসোমার উৎপন্ন হতে পারে। প্রকৃতপক্ষে সব সময় কমবেশি এদের মিশ্রণ পাওয়া যায়। এই আইসোমার তিনটি কী অনুপাতে উৎপন্ন হবে অর্থাৎ প্রথম প্রতিস্থাপনের সাপেক্ষে দ্বিতীয় প্রতিস্থাপক বেনজিন বলয়ের কোন স্থানে প্রবেশ করবে তা প্রধানত বেনজিন বলয়ে উপস্থিত **প্রথম প্রতিস্থাপক নির্দেশ করে এবং তা প্রথম প্রতিস্থাপকের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে।** একাধিক প্রতিস্থাপনের ক্ষেত্রে বেনজিন বলয়ে উপস্থিত প্রতিস্থাপকগুলির এই স্থান নির্দেশক প্রভাব বিবেচনা করে উপস্থিত প্রতিস্থাপকগুলিকে দুটি শ্রেণিতে ভাগ করা হয়েছে।

(i) অর্থো-প্যারা নির্দেশক গ্রুপ (Ortho-para directing groups) **ঃ**

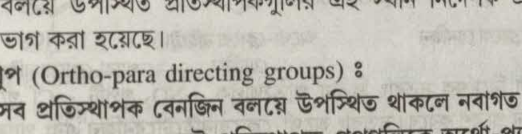
প্রথম প্রতিস্থাপক রূপে যে সব প্রতিস্থাপক বেনজিন বলয়ে উপস্থিত থাকলে নবাগত দ্বিতীয় প্রতিস্থাপকটি বেনজিন বলয়ের অর্থো ও প্যারা অবস্থানে প্রবেশ করে, সেই প্রতিস্থাপক গ্রুপগুলিকে অর্থো-প্যারা নির্দেশক গ্রুপ বলা হয়।

যেমন ঃ OH, NH_2, NHR, NR_2, OR, $NHCOCH_3$, CH_3, C_2H_5, Cl, Br, I ইত্যাদি গ্রুপ বা পরমাণুগুলি অর্থো-প্যারা নির্দেশক। **এই গ্রুপগুলির একটি বৈশিষ্ট্য হল, যে পরমাণুর মাধ্যমে এরা বেনজিন বলয়ে যুক্ত থাকে সেই পরমাণুটিতে এক বা একাধিক ইলেকট্রন জোড় উপস্থিত থাকে।** (ব্যতিক্রম ঃ অ্যালকিল গ্রুপ—CH_3, C_2H_5 ইত্যাদি)। এই গ্রুপগুলি বেনজিন বলয়ের অর্থো ও প্যারা অবস্থানে **ইলেকট্রনের ঘনত্ব বাড়ায়।** অর্থো ও প্যারা অবস্থানে আপেক্ষিক ইলেকট্রন ঘনত্ব মেটা অবস্থানের থেকে বেশি হওয়ায় দ্বিতীয় অর্থাৎ নবাগত প্রতিস্থাপক গ্রুপ অর্থো (o) ও প্যারা (p) অবস্থানে প্রবেশ করে।

উদাহরণ ঃ ফেনলের নাইট্রেশন করলে অর্থো ও প্যারা আইসোমার উৎপন্ন হয়।



টলুইনের নাইট্রেশন করলে অর্থো-নাইট্রো টলুইন এবং প্যারা নাইট্রো টলুইনের মিশ্রণ পাওয়া যায়।



(ii) মেটা নির্দেশক গ্রুপ (Meta directing group) :

প্রথম প্রতিস্থাপক রূপে যে সব গ্রুপগুলি বেনজিন বলয়ে উপস্থিত থাকলে নবাগত দ্বিতীয় গ্রুপটি মেটা (*m*) অবস্থানে প্রবেশ করে তাদের মেটা-নির্দেশক গ্রুপ বলা হয়।

যেমন : $\overset{+}{N}R_2$, NO_2, CN, SO_3H, CO, CHO, COOH ইত্যাদি গ্রুপগুলি হল মেটা নির্দেশক। এই গ্রুপগুলির বৈশিষ্ট্য হল, যে বেনজিন বলয়ের সঙ্গে প্রত্যক্ষভাবে যুক্ত পরমাণুটি অন্য কোনো পরমাণুর সঙ্গে দ্বি-বন্ধন বা ত্রি-বন্ধন দ্বারা যুক্ত থাকে।

উদাহরণ : নাইট্রোবেনজিনকে আবার নাইট্রেশন করলে মেটা ডাইনাইট্রো বেনজিন উৎপন্ন হয়।



মেটা ডাইনাইট্রো বেনজিন

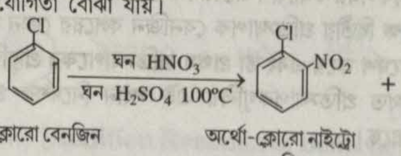
● প্রতিস্থাপনের ফলে বেনজিন বলয়ের সক্রিয়তার হ্রাস বা বৃদ্ধি :

অর্থো-প্যারা নির্দেশক গ্রুপগুলি বেনজিন বলয়ে ইলেকট্রন ঘনত্ব বৃদ্ধি করে। ফলে বেনজিন বলয়ে ইলেকট্রোফিলিক প্রতিস্থাপন বিক্রিয়ার সক্রিয়তা বৃদ্ধি পায়। এই কারণে এইসব গ্রুপগুলিকে সক্রিয়ক গ্রুপ (activating group) বলা হয়। যেমন : বেনজিনের নাইট্রেশন যে গতিতে ঘটে, টলুইনের নাইট্রেশন তার চেয়ে অনেক দ্রুত গতিতে ঘটে।

মেটা নির্দেশক গ্রুপগুলি বেনজিন বলয়ে ইলেকট্রন ঘনত্ব হ্রাস করে ফলে বেনজিন বলয়ে ইলেকট্রোফিলিক প্রতিস্থাপন বিক্রিয়া কিছুটা নিষ্ক্রিয় করে দেয়। এই কারণে মেটা নির্দেশক গ্রুপগুলিকে নিষ্ক্রিয় গ্রুপ (deactivating group) বলা হয়। যেমন : নাইট্রোবেনজিনের নাইট্রেশন বেনজিনের নাইট্রেশনের চেয়ে ধীর গতিতে ঘটে।

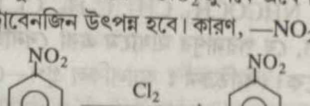
● প্রতিস্থাপকসমূহের বিন্যাসক্রমের উপযোগিতা :

এই বিন্যাসক্রম ঠিক ভাবে ব্যবহার করে অ্যারোমেটিক যৌগের বিভিন্ন আইসোমারগুলিকে সহজেই তৈরি করা সম্ভব। নীচের উদাহরণ দুটি থেকে এই বিন্যাসক্রমের উপযোগিতা বোঝা যায়।



ক্লোরো বেনজিন — অর্থো-ক্লোরো নাইট্রো বেনজিন — প্যারা-ক্লোরো নাইট্রো বেনজিন

যেহেতু—Cl গ্রুপ অর্থো-প্যারা নির্দেশক সুতরাং দ্বিতীয় প্রতিস্থাপক $-NO_2$ গ্রুপটি —Cl গ্রুপের অবস্থানের সাপেক্ষে বেনজিন বলয়ের অর্থো এবং প্যারা অবস্থানে প্রবেশ করবে। সুতরাং **অর্থো-ক্লোরোনাইট্রোবেনজিন এবং প্যারাক্লোরোনাইট্রোবেনজিন এর মিশ্রণ উৎপন্ন করতে হলে, বেনজিন বলয়ে আগে —Cl গ্রুপ এবং পরে $-NO_2$ গ্রুপকে প্রবেশ করাতে হবে।** আগে $-NO_2$ গ্রুপ প্রবেশ করিয়ে পরে —Cl গ্রুপ প্রবেশ করালে মেটা ক্লোরোনাইট্রোবেনজিন উৎপন্ন হবে। কারণ, $-NO_2$ গ্রুপ মেটা নির্দেশক। সুতরাং দ্বিতীয় প্রতিস্থাপক —Cl গ্রুপ মেটা অবস্থানে প্রবেশ করবে।



মেটা-ক্লোরোনাইট্রো বেনজিন

6.7. ক্লোরোবেনজিন বা ফিনাইল ক্লোরাইড [Chlorobenzene or Phenyl Chloride (C_6H_5Cl)]

[A] ক্লোরোবেনজিন প্রস্তুতি : (1) লৌহ (আয়রন) চূর্ণের উপস্থিতিতে সাধারণ তাপমাত্রায় বেনজিনের মধ্যে পরিমাণ মতো ক্লোরিন প্রবাহিত করে পরীক্ষাগারে ক্লোরোবেনজিন প্রস্তুত করা হয়।

$$C_6H_6 + Cl_2 \xrightarrow{Fe} C_6H_5Cl + HCl$$

আয়রন চূর্ণ ও বেনজিনের মিশ্রণে নিয়ন্ত্রিত পরিমাণ (1 মোল) শুষ্ক ক্লোরিন চালনা করে মিশ্রণটিকে 40ºC-এ উত্তপ্ত করা হয়। বিক্রিয়া শেষে মিশ্রণ ঠান্ডা জলে ঢাললে অদ্রাব্য ভারী ক্লোরোবেনজিন নীচের স্তরে জমা হয়। একে বিয়োজী ফানেলে প্রথমে কস্টিক সোডা দ্রবণ দ্বারা এবং পরে জল দ্বারা ধৌত করে পৃথক করা হয়। অনার্দ্র $CaCl_2$ দ্বারা শুষ্ক করে পাতন করলে 132º—134ºC তাপমাত্রায় পাতিত হয়ে বিশুদ্ধ ক্লোরোবেনজিন উৎপন্ন হয়।

(2) র‍্যাশিগের পদ্ধতি (Raschig process) : এই পদ্ধতিতে ক্লোরোবেনজিনের শিল্প উৎপাদন করা হয়।

বেনজিন বাষ্প, বায়ু ও হাইড্রোজেন ক্লোরাইডের মিশ্রণকে উত্তপ্ত কপার ক্লোরাইড (অনুঘটক)-এর উপর দিয়ে চালনা করলে ক্লোরোবেনজিন উৎপন্ন হয়।

$$2C_6H_6 + 2HCl + O_2 \xrightarrow[\Delta]{CuCl_2} C_6H_5Cl + 2H_2O$$

(3) ডায়াজোনিয়াম লবণ থেকে ঃ সদ্য প্রস্তুত ডায়াজোনিয়াম লবণের দ্রবণের সঙ্গে HCl-এ দ্রবীভূত কিউপ্রাস ক্লোরাইডের বিক্রিয়ায় ক্লোরোবেনজিন উৎপন্ন হয়।

$$C_6H_5\overset{+}{N}_2Cl^- \xrightarrow{CuCl,\ HCl} C_6H_5Cl + N_2$$

[B] ক্লোরোবেনজিনের ধর্ম ও রাসায়নিক বিক্রিয়া ঃ

1. ভৌত ধর্ম (Physical properties) ঃ ক্লোরোবেনজিন তেলের মতো তরল, স্ফুটনাঙ্ক 132°C.

2. রাসায়নিক বিক্রিয়া (Chemical reactions) ঃ

(1) প্রতিস্থাপন বিক্রিয়া ঃ (i) OH গ্রুপ দ্বারা প্রতিস্থাপন ঃ 300°C তাপমাত্রা এবং 200 atm চাপে **কস্টিক সোডা** দ্রবণের সঙ্গে বিক্রিয়া করে **সোডিয়াম ফেনেট** উৎপন্ন করে। একে আম্লিক করলে **ফেনল** পাওয়া যায়।

$$C_6H_5Cl + 2NaOH \xrightarrow{300°C} C_6H_5\overset{-}{O}\overset{+}{Na} + NaCl + H_2O$$

$$C_6H_5ONa \xrightarrow{H^+} C_6H_5OH$$

(ii) NH$_2$ গ্রুপ দ্বারা প্রতিস্থাপন ঃ কিউপ্রাস অক্সাইডের উপস্থিতিতে 200°C তাপমাত্রা এবং **60 atm** চাপে ক্লোরোবেনজিনকে অতিরিক্ত গাঢ় **অ্যামোনিয়ার** দ্রবণের সঙ্গে উত্তপ্ত করলে **অ্যানিলিন হাইড্রোক্লোরাইড** লবণ তৈরি হয়, যা ক্ষার দ্বারা প্রশমিত করলে **অ্যানিলিন** উৎপন্ন হয়।

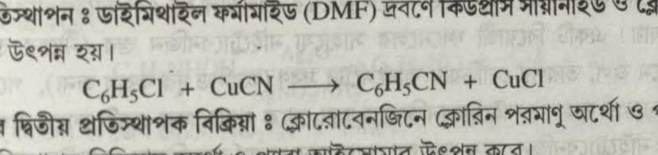
$$C_6H_5Cl + NH_3 \xrightarrow[200°C]{Cu_2O} \underset{\text{অ্যানিলিন হাইড্রোক্লোরাইড}}{C_6H_5NH_2.HCl} \xrightarrow{NaOH} \underset{\text{অ্যানিলিন}}{C_6H_5NH_2}$$

(iii) CN গ্রুপ দ্বারা প্রতিস্থাপন ঃ ডাইমিথাইল ফর্মামাইড (DMF) দ্রবণে **কিউপ্রাস সায়ানাইড ও ক্লোরোবেনজিনকে** উত্তপ্ত করলে **ফিনাইল সায়ানাইড** উৎপন্ন হয়।

$$C_6H_5Cl + CuCN \longrightarrow C_6H_5CN + CuCl$$

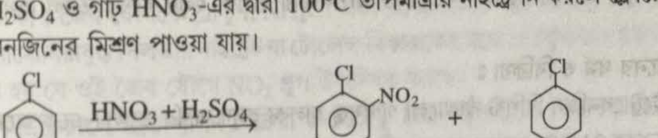
(2) ক্লোরোবেনজিনের দ্বিতীয় প্রতিস্থাপক বিক্রিয়া ঃ ক্লোরোবেনজিনে ক্লোরিন পরমাণু অর্থো ও প্যারা নির্দেশক। সেজন্য ক্লোরোবেনজিনে দ্বিতীয় প্রতিস্থাপন বিক্রিয়ায় অর্থো ও প্যারা আইসোমার উৎপন্ন করে।

(i) নাইট্রেশন ঃ গাঢ় H_2SO_4 ও গাঢ় HNO_3-এর দ্বারা 100°C তাপমাত্রায় নাইট্রেশন করলে ক্লোরোবেনজিন থেকে অর্থো ও প্যারা-নাইট্রো ক্লোরোবেনজিনের মিশ্রণ পাওয়া যায়।



o-নাইট্রো ক্লোরোবেনজিন   *p*-নাইট্রো ক্লোরোবেনজিন

(ii) ক্লোরিনেশন ঃ সাধারণ তাপমাত্রায় লৌহচূর্ণের উপস্থিতিতে ক্লোরোবেনজিনের মধ্যে ক্লোরিন গ্যাস চালনা করলে অর্থো ও প্যারা ডাইক্লোরোবেনজিন উৎপন্ন হয়।

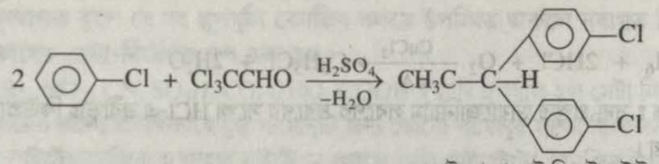


অর্থো-ডাইক্লোরোবেনজিন   প্যারা-ডাইক্লোরোবেনজিন

● ক্লোরোবেনজিনের ব্যবহার (Uses of Chlorobenzene) ঃ

অ্যানিলিন, ফেনল এবং কীটনাশক D.D.T. তৈরি করতে ক্লোরোবেনজিন ব্যবহৃত হয়। *p, p'*-ডাইক্লোরো-ডাই ফিনাইল-ট্রাইক্লোরো ইথেনের সংক্ষিপ্ত নাম D.D.T.

D.D.T. প্রস্তুতি ঃ ক্লোরোবেনজিন, অনার্দ্র ক্লোরাল এবং গাঢ় H_2SO_4-এর মিশ্রণ উত্তপ্ত করে D.D.T. প্রস্তুত করা হয়।



p, p′-ডাইক্লোরো-ডাই ফিনাইল-ট্রাইক্লোরো ইথেন

6.8. নাইট্রোবেনজিন [(Nitrobenzene) : $C_6H_5NO_2$]

[A] নাইট্রোবেনজিন প্রস্তুতি ঃ

(1) পরীক্ষাগার পদ্ধতি (Laboratory method of preparation) **ঃ**

(i) নীতি (Principle) **ঃ** গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিড ও গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের মিশ্রণের (মিশ্র অ্যাসিড) সঙ্গে বেনজিনের নাইট্রেশন বিক্রিয়ায় নাইট্রোবেনজিন উৎপন্ন হয়। জলগাহে প্রায় 60°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করে বিক্রিয়া ঘটানো হয়। বেশি উয়তায় **মেটা-ডাই-নাইট্রোবেনজিন** উৎপন্ন হয়।

(ii) পদ্ধতি ঃ একটি 500 মিলি গোলতল ফ্লাস্কে 35 মিলি গাঢ় নাইট্রিক অ্যাসিড (2 ভাগ ওজনের) নেওয়া হয় এবং ফ্লাস্ক ঝাঁকাতে ঝাঁকাতে 40 মিলি গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড (3 ভাগ ওজনের) অল্প অল্প অংশে যোগ করা হয়। এরপর মিশ্রণটি ভাল করে ঠান্ডা করা হয়। মিশ্র অ্যাসিডের শীতল মিশ্রণে অল্প অল্প অংশে 30 মিলি বেনজিন মিশিয়ে আলোড়িত করা হয়। লক্ষ রাখা হয় যাতে তাপমাত্রা যেন 50°C উপরে না যায়। প্রয়োজন হলে ফ্লাস্কটি ঠান্ডা জলে ডুবিয়ে তাপমাত্রা কমাতে হয়। সমস্ত বেনজিন যোগ করার পর ফ্লাস্কটি জলগাহে 55°C—60°C তাপমাত্রায় আধ ঘন্টা উত্তপ্ত করা হয়। এই সময় মাঝে মাঝে ফ্লাস্কটি ভালোভাবে ঝাঁকানো হয়।

একটি বড়ো বিকারে নেওয়া প্রায় 500 মিলি শীতল জলে ফ্লাস্কের তরল ঢালা হয় এবং ভালোভাবে আলোড়িত করা হয়। তরলটি দুটি স্তরে ভাগ হয়ে যায়। একটি বিয়োজী ফানেলের সাহায্যে নাইট্রোবেনজিন স্তর (নীচের স্তর) পৃথক করা হয়। এই নাইট্রোবেনজিনকে প্রথমে জল, তারপর সোডিয়াম কার্বনেটের দ্রবণ (অ্যাসিড দূর করার জন্য), পরে আবার জল দিয়ে ভালো করে ধুয়ে বিয়োজী ফানেলের সাহায্যে নাইট্রোবেনজিনকে জল থেকে পৃথক করে একটি ফ্লাস্কে রাখা হয়।

(iii) বিশুদ্ধিকরণ ঃ নাইট্রোবেনজিন থেকে জল দূর করার জন্য অনার্দ্র ক্যালশিয়াম ক্লোরাইড যোগ করা হয়। নাইট্রোবেনজিন স্বচ্ছ হয়ে গেলে ছেঁকে পাতিত করলে 208°—211°C তাপমাত্রায় হালকা হলুদ বর্ণের তরল হিসাবে বিশুদ্ধ নাইট্রোবেনজিন পাওয়া যায়।

[B] নাইট্রোবেনজিনের ধর্ম ও বিক্রিয়া ঃ

1. ভৌত ধর্ম ঃ নাইট্রোবেনজিন বিশিষ্ট ঝাঁঝালো গন্ধযুক্ত হালকা হলুদ বর্ণের তরল। একে **অয়েল অব মিরাবেন** (Oil of mirabane) বলে। স্ফুটনাঙ্ক 211°C। জলের চেয়ে ভারী তরল। জলে অদ্রাব্য, অনেক জৈব তরলে দ্রাব্য, অ্যালকোহল, ইথার ও বেনজিনের সঙ্গে যে কোনো অনুপাতে মেশে। নাইট্রোবেনজিন বাষ্প বিষাক্ত।

2. রাসায়নিক ধর্ম ও বিক্রিয়া ঃ নাইট্রোবেনজিন সুস্থিত যৌগ, সহজে অ্যাসিড বা ক্ষার দ্বারা আক্রান্ত হয় না, কিন্তু সহজেই বিজারিত হয়। নাইট্রোবেনজিনের রাসায়নিক বিক্রিয়া দু'ভাগে ভাগ করা যায়।

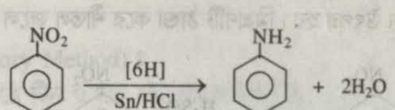
(i) কার্যকরী NO_2 গ্রুপের বিক্রিয়া, (ii) বেনজিন বলয়ের বিক্রিয়া।

● **নাইট্রো গ্রুপের বিক্রিয়া ঃ** নাইট্রোবেনজিনের NO_2 গ্রুপের সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ বিক্রিয়া হল NO_2 গ্রুপের বিজারণ। নাইট্রোবেনজিন সহজেই বিজারিত হয়ে যায়, পর্যায়ক্রমে বিজারিত হয়ে অ্যানিলিনে পরিণত হয়। নাইট্রোবেনজিনের বিজারণের পর্যায়ক্রম নীচে দেওয়া হল।

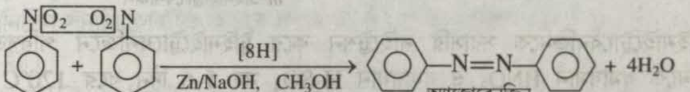
$$\underset{\text{নাইট্রোবেনজিন}}{C_6H_5NO_2} \longrightarrow \underset{\text{নাইট্রোসোবেনজিন}}{C_6H_5NO} \longrightarrow \underset{\text{ফিনাইল হাইড্রক্সিল অ্যামিন}}{C_6H_5NHOH} \longrightarrow \underset{\text{অ্যানিলিন}}{C_6H_5NH_2}$$

বিজারণ বিক্রিয়ার শেষে কী উৎপন্ন হবে তা বিজারকের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে।

(i) অ্যাসিড মাধ্যমে বিজারণ ঃ নাইট্রোবেনজিন Zn/HCl, Sn/HCl বা $SnCl_2$/HCl দ্বারা বিজারিত হয়ে অ্যানিলিনে পরিণত হয়।

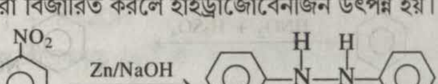


(ii) ক্ষারীয় মাধ্যমে ঃ (a) Zn চূর্ণ ও মিথানলীয় NaOH দ্বারা নাইট্রোবেনজিনকে বিজারিত করলে অ্যাজোবেনজিন উৎপন্ন হয়।



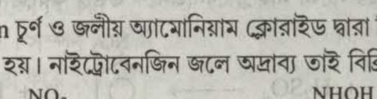
অ্যাজোবেনজিন

(b) Zn চূর্ণ ও জলীয় NaOH দ্বারা বিজারিত করলে হাইড্রাজোবেনজিন উৎপন্ন হয়।



হাইড্রাজোবেনজিন

(iii) প্রশম দ্রবণে বিজারণ ঃ Zn চূর্ণ ও জলীয় অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড দ্বারা বিজারিত করলে নাইট্রোবেনজিন বিজারিত হয়ে ফিনাইল হাইড্রক্সিল অ্যামিন উৎপন্ন হয়। নাইট্রোবেনজিন জলে অদ্রাব্য তাই বিক্রিয়াটি জলীয় অ্যালকোহল মাধ্যমে ঘটানো হয়।



N-ফিনাইল হাইড্রক্সিল অ্যামিন

ফিনাইল হাইড্রক্সিল অ্যামিন তীব্র বিজারক। অ্যামোনিয়াযুক্ত $AgNO_3$ বা টোলেন্স বিকারককে বিজারিত করে ধূসর বর্ণের ধাতব সিলভারের অধঃক্ষেপ উৎপন্ন করে।

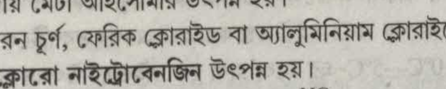
$$C_6H_5NHOH \xrightarrow[AgNO_3/NH_3]{Ag_2O} C_6H_5NO + Ag\downarrow + H_2O$$

এই বিক্রিয়াটি নাইট্রোবেনজিন বা জৈব যৌগে NO_2 গ্রুপের শনাক্তকরণ পরীক্ষার জন্য ব্যবহার করা হয়। পরীক্ষাটি **মুলিকেন বার্কার পরীক্ষা** (Mulliken-Barker Test) নামে পরিচিত।

মুলিকেন-বার্কার পরীক্ষা ঃ জৈব যৌগকে Zn চূর্ণ, NH_4Cl এবং 50% জলীয় অ্যালকোহল সহযোগে জলগাহে উত্তপ্ত করে মিশ্রণকে ফিলটার করে অ্যামোনিয়াযুক্ত সিলভার নাইট্রেট বা টোলেন্স বিকারকের মধ্যে পরিস্রুত করা হয়। কালো বা ধূসর অধঃক্ষেপ উৎপন্ন হলে সিদ্ধান্ত করা হয় যে ওই জৈব যৌগে NO_2 গ্রুপ উপস্থিত আছে।

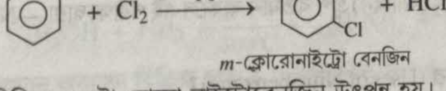
বেনজিন বলয়ে বা নিউক্লিয়াসে প্রতিস্থাপন বিক্রিয়া ঃ যেহেতু NO_2 গ্রুপ মেটা নির্দেশক সেইজন্য নাইট্রোবেনজিনের ইলেকট্রোফিলিক প্রতিস্থাপন বিক্রিয়ায় মেটা আইসোমার উৎপন্ন হয়।

(i) ক্লোরিনেশন বিক্রিয়া ঃ আয়রন চূর্ণ, ফেরিক ক্লোরাইড বা অ্যালুমিনিয়াম ক্লোরাইডের উপস্থিতিতে **নাইট্রোবেনজিনের** মধ্যে ক্লোরিন চালনা করলে **মেটা-ক্লোরো নাইট্রোবেনজিন** উৎপন্ন হয়।



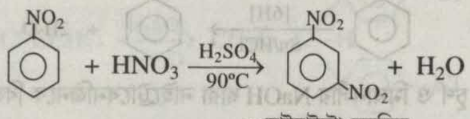
m-ক্লোরোনাইট্রো বেনজিন

অনুরূপভাবে ব্রোমিনের সঙ্গে বিক্রিয়ায় মেটা-ব্রোমো-নাইট্রোবেনজিন উৎপন্ন হয়।



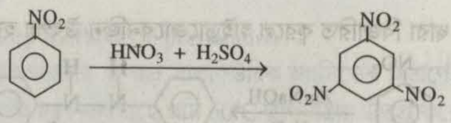
m-ব্রোমোনাইট্রো বেনজিন

(ii) নাইট্রেশন ঃ (*a*) ধূমায়মান নাইট্রিক অ্যাসিড ও গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড সহযোগে নাইট্রোবেনজিনকে ফুটন্ত জলগাহে উত্তপ্ত করলে মেটা-ডাই-নাইট্রোবেনজিন উৎপন্ন হয়। মিশ্রণটি ঠান্ডা করে শীতল জলে ঢাললে হালকা হলুদ বর্ণের কঠিন **মেটা-ডাই-নাইট্রোবেনজিন** পাওয়া যায়।

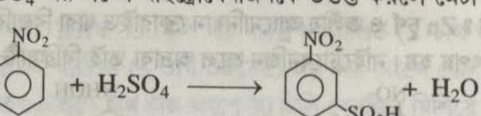


m-ডাইনাইট্রো বেনজিন

(*b*) মেটা-ডাইনাইট্রোবেনজিনকে সরাসরি নাইট্রেশন করে ট্রাইনাইট্রোবেনজিনে পরিণত করা কষ্টসাধ্য। মেটা-ডাইনাইট্রোবেনজিনকে ধূমায়মান HNO_3 ও ধূমায়মান H_2SO_4 সহ 5–6 দিন ধরে 120ºC তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করলে 1, 3, 5-ট্রাইনাইট্রোবেনজিন উৎপন্ন হয়।



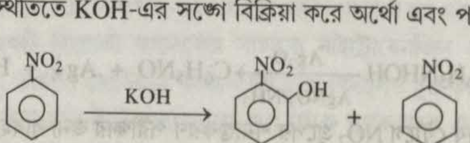
(iii) সালফোনেশন ঃ ধূমায়মান H_2SO_4-এর সঙ্গে নাইট্রোবেনজিনকে উত্তপ্ত করলে মেটা-নাইট্রো বেনজিন সালফোনিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।



m-নাইট্রো বেনজিন সালফোনিক অ্যাসিড

নাইট্রো গ্রুপের উপস্থিতির জন্য বেনজিন নিউক্লিয়াসের সক্রিয়তা কমে যায়, তাই নাইট্রোবেনজিন ফ্রিডেল-ক্র্যাফ্টস বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করে না। সেজন্য **ফ্রিডেল-ক্র্যাফ্টস বিক্রিয়ায় নাইট্রোবেনজিন দ্রাবকরূপে ব্যবহৃত হয়।**

নাইট্রোবেনজিন বায়ুর উপস্থিতিতে KOH-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে অর্থো এবং প্যারা নাইট্রোফেনল উৎপন্ন হয়।



অর্থো নাইট্রোফেনল প্যারা-নাইট্রোফেনল

● নাইট্রোবেনজিনের শনাক্তকরণ (Identification of Nitrobenzene) ঃ

(i) প্রশম দ্রবণে নাইট্রোবেনজিনকে **জিঙ্ক চূর্ণ** এবং **অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড ও অ্যালকোহল** যোগ করে উত্তপ্ত করলে, নাইট্রোবেনজিন বিজারিত হয়ে **ফিনাইল হাইড্রক্সিল অ্যামিন** উৎপন্ন হয়, যা অ্যামোনিয়াযুক্ত $AgNO_3$ বা টোলেন্স বিকারককে বিজারিত করে ধাতব **Ag-এর ধূসর বা কালো অধঃক্ষেপ উৎপন্ন করে** (মুলিকেন ও বার্কার পরীক্ষা)।

(ii) নাইট্রো যৌগকে প্রথমে **টিন** এবং গাঢ় **HCl** সহ উত্তপ্ত করা হয়। এরপর দ্রবণটিকে ঠান্ডা করে জল যোগ করে লঘু করে **$NaNO_2$ দ্রবণ** যোগ করা হয়। উষ্ণতা 0ºC—5ºC-এর মধ্যে রাখা হয়। এইভাবে উৎপন্ন ডায়াজোনিয়াম লবণের দ্রবণের সঙ্গে **ক্ষারীয় বিটা ন্যাপথল দ্রবণ** যোগ করলে **উজ্জ্বল লাল বর্ণের অধঃক্ষেপ** উৎপন্ন হয়। এই পরীক্ষা দ্বারা কেবলমাত্র নাইট্রো গ্রুপ শনাক্ত করা সম্ভব। যৌগের মধ্যে —NH_2 (অ্যামিন) গ্রুপ বর্তমান থাকলে এই পরীক্ষা দ্বারা —NO_2 গ্রুপের শনাক্তকরণ সুনিশ্চিতভাবে করা যায় না।

● নাইট্রোবেনজিনের ব্যবহার (Uses of Nitrobenzene) ঃ

(i) সস্তা সাবান প্রস্তুতিতে গন্ধদ্রব্য রূপে এর একসময়ে ব্যবহার ছিল, কিন্তু বর্তমানে এর ব্যবহার নিষিদ্ধ করা হয়েছে, কারণ নাইট্রোবেনজিন বিষাক্ত (toxic)।

(ii) জুতার কালি প্রস্তুতে, বেনজিডিন, অ্যানিলিন এবং অ্যাজো শ্রেণির বিভিন্ন রঙ প্রস্তুতে এর ব্যবহার আছে।

(iii) দ্রাবক রূপে এবং জৈব রসায়নের মৃদু জারক দ্রব্যরূপে এবং বিস্ফোরক উৎপাদনে এর ব্যবহার আছে।

6.9. অ্যানিলিন বা ফিনাইল অ্যামিন [Aniline or Phenyl Amine]

[A] অ্যানিলিন প্রস্তুতি :

(1) পরীক্ষাগার পদ্ধতি (Laboratory Method) :

(i) নীতি (Principle) : পরীক্ষাগারে টিন ও গাঢ় হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের সাহায্যে নাইট্রোবেনজিনকে বিজারিত করে অ্যানিলিন প্রস্তুত করা হয়।

$$2C_6H_5NO_2 + 3Sn + 12\,HCl \longrightarrow 2C_6H_5NH_2 + 3SnCl_4 + 4\,H_2O$$

উৎপন্ন অ্যানিলিন, অ্যানিলিন স্ট্যানিক্লোরাইড হিসাবে দ্রবণে থাকে। দ্রবণকে ক্ষারীয় করলে অ্যানিলিন নির্গত হয়। যা স্টিম পাতনের দ্বারা সংগ্রহ করা হয়।

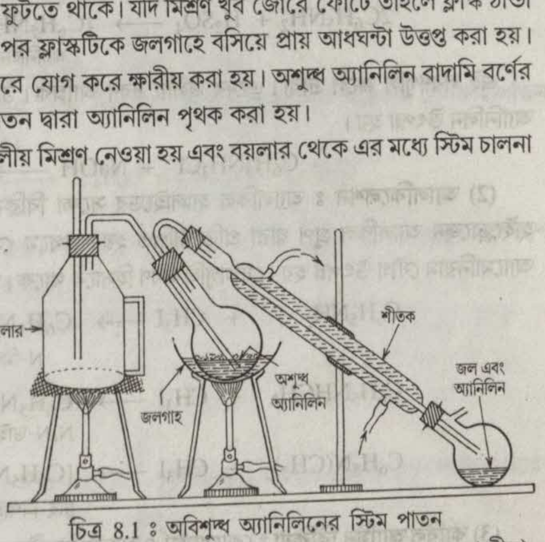
$$2C_6H_5NH_2 + 2HCl + SnCl_4 \longrightarrow (C_6H_5NH_2)_2.H_2SnCl_6 \text{ বা, } [(C_6H_5\overset{+}{N}H_3)_2SnCl_6^{2-}]$$

অ্যানিলিন স্ট্যানিক্লোরাইড

$$[(C_6H_5\overset{+}{N}H_3)_2SnCl_6^{2-}] + 8NaOH \longrightarrow 2C_6H_5NH_2 + Na_2SnO_3 + 6NaCl + 5H_2O$$

(ii) পদ্ধতি (Method) : রিফ্লাস্ক শীতকযুক্ত একটি ফ্লাস্কে নাইট্রোবেনজিন (25 গ্রাম) এবং টিনের টুকরো (50 গ্রাম) নিয়ে ওর মধ্যে 100 মিলি গাঢ় HCl অল্প অল্প করে (প্রতিবার 20 মিলি) যোগ করা হয়। প্রতিবার HCl যোগ করার পর ফ্লাস্ককে ভালোভাবে নাড়ানো হয়। সঙ্গে সঙ্গে বিক্রিয়া শুরু হয় ও মিশ্রণ ফুটতে থাকে। যদি মিশ্রণ খুব জোরে ফোটে তাহলে ফ্লাস্ক ঠান্ডা জলে ডুবিয়ে বিক্রিয়া ধীরে করা হয়। সম্পূর্ণ অ্যাসিড মেশানোর পর ফ্লাস্কটিকে জলগাহে বসিয়ে প্রায় আধঘন্টা উত্তপ্ত করা হয়। মিশ্রণটিকে সাধারণ তাপমাত্রায় ঠান্ডা করে NaOH দ্রবণ ধীরে ধীরে যোগ করে ক্ষারীয় করা হয়। অশুদ্ধ অ্যানিলিন বাদামি বর্ণের তেলের মতো উপরে ভেসে ওঠে। এই ক্ষারীয় দ্রবণের স্টিম পাতন দ্বারা অ্যানিলিন পৃথক করা হয়।

● **স্টিম পাতন :** পাতন ফ্লাস্কে অশুদ্ধ অ্যানিলিনের ক্ষারীয় জলীয় মিশ্রণ নেওয়া হয় এবং বয়লার থেকে এর মধ্যে স্টিম চালনা করা হয়। অ্যানিলিন স্টিমের সঙ্গে বেরিয়ে শীতকের মধ্যে প্রবেশ করে। অ্যানিলিন ও স্টিম শীতকের মধ্যে শীতল ও ঘনীভূত হয়ে গ্রাহক ফ্লাস্কে জমা হয়। গ্রাহক ফ্লাস্কের মধ্যে জল এবং জলে অদ্রাব্য অ্যানিলিন দুটি স্তরে ভাগ হয়ে থাকে। মিশ্রণটি NaCl দ্রবণ মিশিয়ে বেশ ভালো করে নাড়লে মিশ্রণ থেকে অ্যানিলিন পৃথক হয়। এরপর বিয়োজী ফানেলে তরল থেকে অ্যানিলিনকে ইথার দিয়ে নিষ্কাশন করে কঠিন KOH যোগ করে শুষ্ক করা হয়। এই শুষ্ক অ্যানিলিনকে পাতন করলে 180°C—184°C তাপমাত্রায় বিশুদ্ধ অ্যানিলিন পাতিত হয়ে পাত্রে জমা হয়।



চিত্র 8.1 : অবিশুদ্ধ অ্যানিলিনের স্টিম পাতন

(2) ক্লোরোবেনজিন থেকে : কিউপ্রাস ক্লোরাইড ও কিউপ্রাস অক্সাইড অনুঘটকের উপস্থিতিতে উচ্চ চাপে (60 বায়ুমণ্ডলীয়), অ্যামোনিয়ার জলীয় দ্রবণে ক্লোরোবেনজিনকে 200°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করে শিল্প পদ্ধতিতে অ্যানিলিন উৎপাদন করা হয়।

$$2C_6H_5Cl + 2NH_3 \xrightarrow[Cu_2O]{Cu_2Cl_2} 2C_6H_5NH_2 + 2Cu_2Cl_2 + H_2O$$

(3) ফেনল থেকে : অনার্দ্র $ZnCl_2$ অনুঘটকের উপস্থিতিতে ফেনল ও অ্যামোনিয়াকে বদ্ধপাত্রে 300°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করলে অ্যানিলিন উৎপন্ন হয়।

$$C_6H_5OH + NH_3 \xrightarrow[300^\circ C]{ZnCl_2} C_6H_5NH_2 + H_2O$$

(4) বেনজামাইড থেকে : হফম্যান অবনয়ন বিক্রিয়া দ্বারা : বেনজামাইড Br_2 ও জলীয় KOH বা NaOH দ্রবণের সঙ্গে বিক্রিয়ায় বেনজামাইড থেকে একটি কম C পরমাণুযুক্ত প্রাইমারি অ্যামিন অর্থাৎ অ্যানিলিন উৎপন্ন হয়।

$$C_6H_5CONH_2 \xrightarrow{Br_2/KOH} C_6H_5NH_2$$

(5) আয়রন, জল এবং অল্প পরিমাণ হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের সাহায্যে নাইট্রোবেনজিনের বিজারণ দ্বারা শিল্প পদ্ধতিতে অ্যানিলিন উৎপাদন করা হয়।

[B] অ্যানিলিনের ধর্ম ও বিক্রিয়া ঃ

1. ভৌত ধর্ম ঃ অ্যানিলিন বর্ণহীন বিষাক্ত তেলের মতো তরল পদার্থ। স্ফুটনাঙ্ক 184°C। এর একটা নিজস্ব গন্ধ আছে। বিশুদ্ধ অবস্থায় বর্ণহীন, আলো ও বাতাসের সংস্পর্শে জারিত হয়ে বাদামি রঙ ধারণ করে। জলে অদ্রাব্য, অ্যানিলিন মৃদু ক্ষারক, ক্ষারত্ব অ্যালিফ্যাটিক প্রাইমারি অ্যামিন থেকে অনেক কম। অ্যানিলিন লাল লিটমাস সিক্ত কাগজকে নীল করতে পারে না।

2. রাসায়নিক ধর্ম ও বিক্রিয়া ঃ অ্যানিলিনের বিক্রিয়া দুপ্রকারের—**(i) কার্যকরী গ্রুপ—NH_2-এর বিক্রিয়া** এবং **(ii) বেনজিন বলয়ের বিক্রিয়া—প্রতিস্থাপন বিক্রিয়া।**

বেনজিন বলয়ে NH_2 গ্রুপ যুক্ত থাকায় বেনজিন বলয়ের **সক্রিয়তা বেড়ে যায়** এবং প্রতিস্থাপন বিক্রিয়ায় অ্যানিলিনের অর্থো এবং প্যারা অবস্থানের হাইড্রোজেন পরমাণু প্রতিস্থাপিত হয়ে অর্থো এবং প্যারা যৌগ উৎপন্ন করে।

[A] অ্যামিনো গ্রুপের (NH_2) বিক্রিয়া ঃ (1) অ্যানিলিন একটি অ্যারোমেটিক প্রাইমারি অ্যামিন। অ্যানিলিন মৃদু ক্ষারক, কিন্তু অ্যালিফ্যাটিক প্রাইমারি অ্যামিনের চেয়ে ক্ষারত্ব অনেক কম। ক্ষারক ধর্মের জন্য অ্যানিলিন তীব্র অজৈব অ্যাসিড, যেমন, গাঢ় HCl এবং গাঢ় H_2SO_4 অ্যামিনের সঙ্গে কেলাসীয় কঠিন অ্যানিলিন হাইড্রোক্লোরাইড ও অ্যানিলিন সালফেট লবণ উৎপন্ন করে।

$$C_6H_5NH_2 + HCl \longrightarrow \underset{\text{অ্যানিলিন হাইড্রোক্লোরাইড}}{C_6H_5\overset{+}{N}H_3Cl^-} \quad \text{বা, } C_6H_5NH_2.HCl$$

$$2C_6H_5NH_2 + H_2SO_4 \longrightarrow \underset{\text{অ্যানিলিন সালফেট}}{[C_6H_5NH_3]_2^+SO_4^{2-}} \quad \text{বা, } (C_6H_5NH_2)_2.H_2SO_4$$

এই লবণগুলি জলে দ্রাব্য। এদের জলীয় দ্রবণ আম্লিক। ঠান্ডা অবস্থায় লবণগুলির সঙ্গে অতিরিক্ত NaOH যোগ করলে অ্যানিলিন উৎপন্ন হয়।

$$C_6H_5\overset{+}{N}H_3Cl^- + NaOH \longrightarrow C_6H_5NH_2 + NaCl + H_2O$$

(2) অ্যালকিলেশন ঃ অ্যালকিল হ্যালাইডের সঙ্গে বিক্রিয়ায় অ্যালিফ্যাটিক অ্যামিনের মতো অ্যানিলিনের NH_2 গ্রুপের হাইড্রোজেন অ্যালকিল গ্রুপ দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়। প্রথমে সেকেন্ডারি অ্যামিন, পরে টারসিয়ারি এবং শেষে কোয়াটারনারি অ্যামোনিয়াম যৌগ উৎপন্ন হয়। যৌগগুলি লবণ হিসাবে থাকে। অ্যানিলিন ও মিথাইল আয়োডাইডের বিক্রিয়া নীচে দেওয়া হল—

$$C_6H_5NH_2 + CH_3I \longrightarrow \underset{\text{N-মিথাইল অ্যানিলিন}}{C_6H_5NHCH_3} + HI \rightarrow [C_6H_5NH_2CH_3]^+I^-$$

$$C_6H_5NHCH_3 + CH_3I \longrightarrow \underset{\text{N, N-ডাইমিথাইল অ্যানিলিন}}{C_6H_5N(CH_3)_2} + HI \rightarrow [C_6H_5NH(CH_3)_2]^+I^-$$

$$C_6H_5N(CH_3)_2 + CH_3I \longrightarrow \underset{\text{ট্রাই-মিথাইল ফিনাইল অ্যামোনিয়াম আয়োডাইড}}{[C_6H_5N(CH_3)_3]^+I^-}$$

(3) কার্বিল অ্যামিন বিক্রিয়া ঃ ক্লোরোফর্ম ও অ্যালকোহলীয় কস্টিকপটাশ দ্রবণের সঙ্গে অ্যানিলিন উত্তপ্ত করলে তীব্র দুর্গন্ধযুক্ত বিষাক্ত ফিনাইল আইসোসায়ানাইড বা কার্বিল অ্যামিন উৎপন্ন হয়। এই বিক্রিয়া দ্বারা অ্যানিলিনকে শনাক্ত করা যায়। সব প্রাইমারি অ্যামিন (অ্যালিফ্যাটিক বা অ্যারোমেটিক) এই বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করে।

$$C_6H_5NH_2 + CHCl_3 + KOH \longrightarrow C_6H_5NC + 3KCl + 3H_2O$$

আইসোসায়ানাইড ক্ষার দ্বারা আর্দ্র বিশ্লেষিত হয় না কিন্তু অ্যাসিডে আর্দ্র বিশ্লেষিত করলে অ্যামিন যৌগটি ফেরত পাওয়া যায়।

$$C_6H_5NC \xrightarrow{H_2O/H^+} C_6H_5NH_2 + HCOOH$$

(4) অ্যাসিটাইলেশন ঃ অ্যাসিটাইল ক্লোরাইড, অ্যাসিটিক অ্যানহাইড্রাইড বা গ্লেসিয়াল অ্যাসিটিক অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়ায় অ্যানিলিনের NH_2 গ্রুপের হাইড্রোজেন অ্যাসিটাইল গ্রুপ দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে অ্যাসিট্যানিলাইডে পরিণত হয়।

$$C_6H_5NH_2 + CH_3COCl \longrightarrow \underset{\text{অ্যাসিট্যানিলাইড}}{C_6H_5NHCOCH_3} + HCl$$

$$C_6H_5NH_2 + (CH_3CO)_2O \longrightarrow \underset{\text{অ্যাসিট্যানিলাইড}}{C_6H_5NHCOCH_3} + CH_3COOH$$

(5) বেনজয়িলেশন ঃ অ্যানিলিনের সঙ্গে বেনজয়িল ক্লোরাইড এবং অতিরিক্ত NaOH দ্রবণ যোগ করে ঝাঁকালে, অ্যানিলিনের NH_2 গ্রুপের হাইড্রোজেন পরমাণু বেনজয়িল (C_6H_5CO) গ্রুপ দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে সাদা কেলাসাকার বেনজানিলাইড উৎপন্ন করে।

$$C_6H_5NH_2 + C_6H_5COCl \longrightarrow \underset{\text{বেনজানিলাইড}}{C_6H_5NHCOC_6H_5} + HCl$$

(6) ডায়াজো বিক্রিয়া (Diazo reaction) ঃ অ্যানিলিন ও যে-কোনো অ্যারোমেটিক প্রাইমারি অ্যামিন ঠান্ডা অবস্থায় (0—5ºC) নাইট্রাস অ্যাসিডের (জলীয় $NaNO_2$ দ্রবণ + লঘু অজৈব অ্যাসিড) সঙ্গে বিক্রিয়ায় অ্যারোমেটিক ডায়াজোনিয়াম লবণ উৎপন্ন করে। এই বিক্রিয়াকে ডায়াজো বিক্রিয়া বলে এবং ডায়াজোনিয়াম লবণ প্রস্তুতির পদ্ধতিকে **ডায়াজোটাইজেশন** বলে। অ্যালিফ্যাটিক প্রাইমারি অ্যামিন HNO_2-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় নাইট্রোজেন গ্যাস নির্গত ও অ্যালকোহল উৎপন্ন হয়।

অ্যানিলিনকে লঘু HCl-এ দ্রবীভূত করে 0º—5ºC তাপমাত্রায় ঠান্ডা করে জলীয় সোডিয়াম নাইট্রাইট দ্রবণ ধীরে ধীরে মেশালে বেনজিন ডায়াজোনিয়াম ক্লোরাইড উৎপন্ন হয়।

$$C_6H_5NH_2 \xrightarrow[0-5^\circ C]{NaNO_2 + HCl} C_6H_5\overset{+}{N}_2Cl^- \text{ বা } C_6H_5-\overset{+}{N}\equiv N \colon Cl^-$$

বেনজিন ডায়াজোনিয়াম ক্লোরাইড

লবণটির স্থায়িত্বের জন্য অতিরিক্ত পরিমাণ অ্যাসিড যোগ করা দরকার। তাপমাত্রা 0º—5ºC-এর বেশি হলে ডায়াজোনিয়াম লবণ বিয়োজিত হয়ে জলের সঙ্গে বিক্রিয়ায় ফেনলে পরিণত হয়।

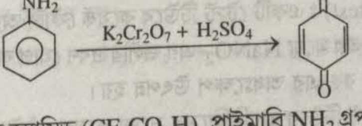
$$C_6H_5\overset{+}{N}_2\overset{-}{Cl} + H_2O \longrightarrow C_6H_5OH + HCl + N_2$$

(7) অ্যারোমেটিক অ্যালডিহাইড, যেমন বেনজালডিহাইডের সঙ্গে অ্যানিলিনের কনডেনশেসন বিক্রিয়ায় বেনজাইলিডিন অ্যানিলিন (**একটি সিফ্ ক্ষারক,** Schiff's base) উৎপন্ন করে।

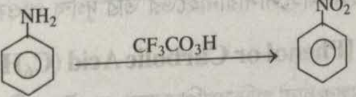
$$C_6H_5N\boxed{H_2 + O}HCC_6H_5 \longrightarrow \underset{\text{বেনজাইলিডিন অ্যানিলিন}}{C_6H_5N = CHC_6H_5} + H_2O$$

(8) জারণ ঃ (i) বায়ুর সংস্পর্শে অ্যানিলিন সহজে জারিত হয়। সদ্য প্রস্তুত অ্যানিলিন বর্ণহীন তরল হলেও, বায়ুর সংস্পর্শে রেখে দিলে ধীরে ধীরে হালকা থেকে গাঢ় বাদামি বর্ণে পরিণত হয়।

$K_2Cr_2O_7$ এবং গাঢ় H_2SO_4 দ্বারা অ্যানিলিন জারিত হয়ে প্যারা-বেনজোকুইনোন উৎপন্ন করে।

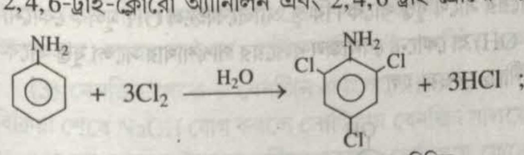


(ii) পারঅক্সি ট্রাইফ্লুওরো অ্যাসিটিক অ্যাসিড (CF_3CO_3H), প্রাইমারি NH_2 গ্রুপকে জারিত করে নাইট্রো গ্রুপে পরিণত করে।

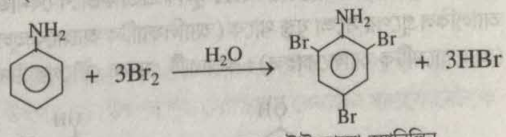


[B] বেনজিন বলয়ের বিক্রিয়া ঃ

(1) হ্যালোজিনেশন ঃ সাধারণ তাপমাত্রায় ক্লোরিন এবং ব্রোমিনের জলীয় দ্রবণের সঙ্গে অ্যানিলিনের বিক্রিয়ায় যথাক্রমে 2, 4, 6-ট্রাই-ক্লোরো অ্যানিলিন এবং 2, 4, 6-ট্রাই-ব্রোমো অ্যানিলিন (সাদা অধঃক্ষেপ) উৎপন্ন হয়।



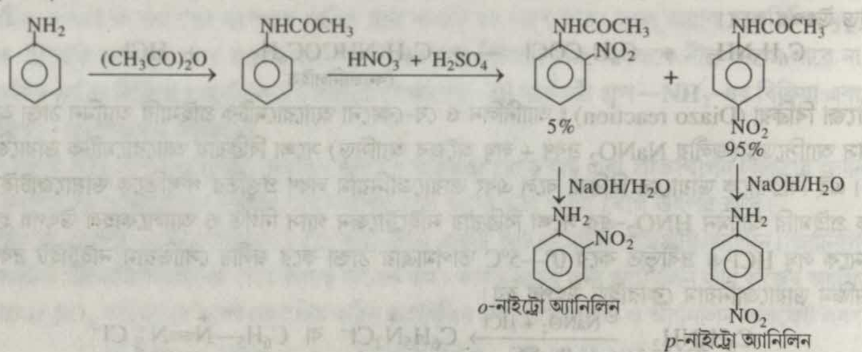
2,4,6-ট্রাইক্লোরো অ্যানিলিন



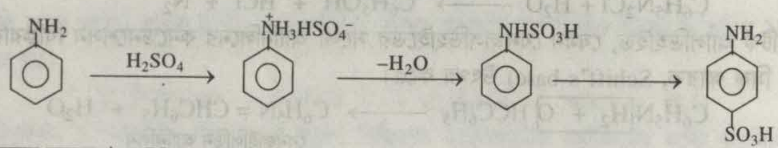
2,4,6-ট্রাইব্রোমো অ্যানিলিন

(2) নাইট্রেশন ঃ গাঢ় HNO_3 তীব্র জারক বলে অ্যানিলিন সহজেই জারিত হয়ে যায়, তাই মিশ্র অ্যাসিড দ্বারা অ্যানিলিনের প্রত্যক্ষ নাইট্রেশন করা হয় না। প্রথমে অ্যানিলিনকে অ্যাসিটিক অ্যানহাইড্রাইড দ্বারা অ্যাসিট্যানিলাইডে পরিণত করা হয়। মিশ্র অ্যাসিড (গাঢ়

HNO_3 + গাঢ় H_2SO_4) দ্বারা অ্যাসিট্যানিলাইডের নাইট্রেশনে অর্থো এবং প্যারা নাইট্রোঅ্যাসিট্যানিলাইডের মিশ্রণ পাওয়া যায়। এদের পৃথক করে পৃথক পৃথকভাবে আর্দ্র বিশ্লেষণ দ্বারা অর্থো নাইট্রো অ্যানিলিন ও প্যারা-নাইট্রো অ্যানিলিন পাওয়া যায়।



(3) সালফোনেশন : অ্যানিলিনকে ওলিয়াম সহযোগে 180°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করলে সালফানিলিক অ্যাসিড মুখ্য বিক্রিয়াজাত হিসাবে উৎপন্ন হয়। প্রথমে ফিনাইল অ্যামোনিয়াম সালফেট লবণ উৎপন্ন হয় এবং উত্তাপে এই লবণ এক অণু জল মোচন করে এবং পরে আণবিক পুনর্বিন্যাসের ফলে সালফানিলিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।



● **অ্যানিলিনের ব্যবহার** (Uses of Aniline) :

নানাবিধ রঙ প্রস্তুতিতে অ্যানিলিনের ব্যবহার সর্বাধিক। রবার শিল্পে, ওষুধ প্রস্তুতিতে অ্যানিলিন ব্যবহৃত হয়। বিভিন্ন জৈব রাসায়নিক সংশ্লেষণে ফেনল, অ্যাসিট্যানিলাইড, সালফানিলিক অ্যাসিড, নাইট্রোঅ্যানিলিন ইত্যাদিতে প্রচুর অ্যানিলিন ব্যবহৃত হয়।

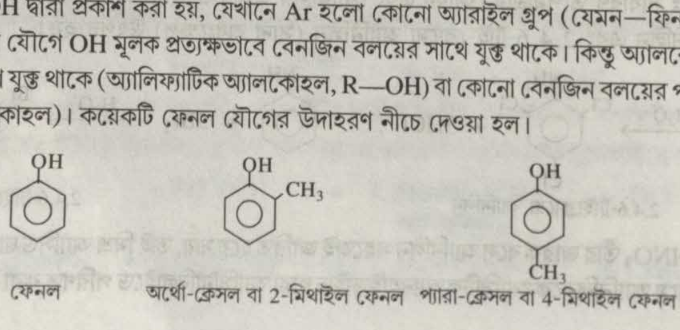
● **অ্যানিলিন শনাক্তকরণ পরীক্ষা** (Identification test of Aniline) :

(1) অ্যাজো-রঞ্জক পরীক্ষা (Azo-dye test) : একটি টেস্ট টিউবে কয়েক ফোঁটা অ্যানিলিন নিয়ে লঘু HCl-এ দ্রবীভূত করা হয় এবং পরীক্ষা নলটি বরফে ঠান্ডা করা হয়। এর মধ্যে $NaNO_2$-এর জলীয় দ্রবণ যোগ করে যে দ্রবণ তৈরি হয়, তা শীতল ক্ষারীয় β-ন্যাপথল দ্রবণে যোগ করলে উজ্জ্বল লাল রঙ-এর অধঃক্ষেপ উৎপন্ন হয়।

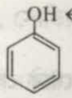
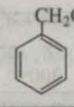
(2) কার্বিল অ্যামিন বিক্রিয়া : একটি টেস্ট টিউবে অ্যানিলিনের সঙ্গে কয়েক ফোঁটা ক্লোরোফর্ম এবং অ্যালকোহলীয় KOH দ্রবণ যোগ করে সামান্য উত্তপ্ত করলে ফিনাইল আইসোসায়ানাইডের তীব্র দুর্গন্ধ পাওয়া যায়।

6.10. ফেনল বা কার্বলিক অ্যাসিড [Phenol or Carbolic Acid (C_6H_5OH)]

বেনজিন বলয়ের একটি H পরমাণু OH মূলক দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে যে যৌগ গঠিত হয় তাকে **ফেনল বা হাইড্রক্সিবেনজিন** বলে। হাইড্রক্সি (OH) মূলক বেনজিন বলয়ে সরাসরি যুক্ত হয়ে যে সব যৌগ উৎপন্ন করে তাদের ফেনল বলা হয়। ফেনলসমূহকে সাধারণ সংকেত ArOH দ্বারা প্রকাশ করা হয়, যেখানে Ar হলো কোনো অ্যারাইল গ্রুপ (যেমন—ফিনাইল গ্রুপ, প্রতিস্থাপকযুক্ত ফিনাইল গ্রুপ)। ফেনল যৌগে OH মূলক প্রত্যক্ষভাবে বেনজিন বলয়ের সাথে যুক্ত থাকে। কিন্তু অ্যালকোহলে OH মূলক কোনো অ্যালকিল গ্রুপের সঙ্গে যুক্ত থাকে (অ্যালিফ্যাটিক অ্যালকোহল, R—OH) বা কোনো বেনজিন বলয়ের পার্শ্বশাখার সঙ্গে যুক্ত থাকে (অ্যারোমেটিক অ্যালকোহল)। কয়েকটি ফেনল যৌগের উদাহরণ নীচে দেওয়া হল।



ফেনল   অর্থো-ক্রেসল বা 2-মিথাইল ফেনল   প্যারা-ক্রেসল বা 4-মিথাইল ফেনল

ফেনল	অ্যালকোহল
 ← OH গ্রুপ বেনজিন বলয়ের সঙ্গে প্রত্যক্ষভাবে যুক্ত থাকে।	(i) অ্যালিফ্যাটিক অ্যালকোহল : R—OH, OH গ্রুপ অ্যালকিল গ্রুপের সঙ্গে যুক্ত থাকে। যেমন—CH_3OH, CH_3CH_2OH. (ii) অ্যারোমেটিক অ্যালকোহল :  ← OH গ্রুপ বেনজিন বলয়ের পার্শ্বশাখার সঙ্গে যুক্ত থাকে। যেমন—বেনজাইল অ্যালকোহল

[A] ফেনল প্রস্তুতি :

(1) আলকাতরা থেকে ফেনল নিষ্কাশন (Isolation of Phenol from coal tar) : আলকাতরার আংশিক পাতন করলে 170°—230°C তাপমাত্রায় যে তরল পাতিত হয় তাকে **মিডল অয়েল** (middle oil) বলে। মিডল অয়েলের মধ্যে প্রধানত ন্যাপথলিন ও ফেনল (25%—40%) থাকে। মিডল অয়েলকে ঠান্ডা করলে ন্যাপথলিন কেলাসিত হয়ে দ্রবণ থেকে পৃথক হয়ে যায়। ফিলটার করে ন্যাপথলিনকে পৃথক করে, পরিস্রুতের সঙ্গে 10% NaOH দ্রবণ যোগ করে উত্তপ্ত করা হয়। ফেনল NaOH-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় **সোডিয়াম ফেনেট** উৎপন্ন হয়, যা দ্রবণে দ্রবীভূত অবস্থায় থাকে।

$$C_6H_5OH + NaOH \longrightarrow C_6H_5ONa + H_2O$$

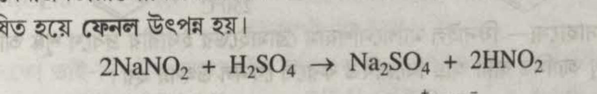
অন্যান্য অশুদ্ধিগুলি দূর করে সোডিয়াম ফেনেটের দ্রবণের সঙ্গে H_2SO_4 মিশিয়ে ঝাঁকালে বা উচ্চচাপে CO_2 গ্যাস চালনা করলে দ্রবণ থেকে ফেনল পৃথক হয়।

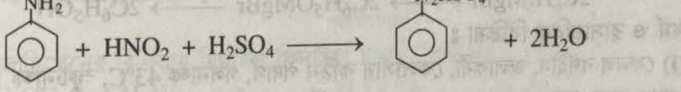
$$C_6H_5ONa + H_2SO_4 \longrightarrow C_6H_5OH + NaHSO_4$$
$$2C_6H_5ONa + CO_2 + H_2O \longrightarrow 2C_6H_5OH + Na_2CO_3$$

এইভাবে প্রাপ্ত ফেনলের আংশিক পাতন করলে 180°—182°C তাপমাত্রায় বিশুদ্ধ ফেনল পাতিত হয়।

(2) অ্যানিলিন থেকে— লঘু সালফিউরিক অ্যাসিডে অ্যানিলিন দ্রবীভূত করে 0°—5°C তাপমাত্রায় সোডিয়াম নাইট্রাইটের জলীয় দ্রবণ যোগ করলে **বেনজিনডায়াজোনিয়াম সালফেট** উৎপন্ন হয়। উৎপন্ন বেনজিনডায়াজোনিয়াম সালফেট দ্রবণকে 50°C উত্তপ্ত করলে আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়ে **ফেনল** উৎপন্ন হয়।

$$2NaNO_2 + H_2SO_4 \rightarrow Na_2SO_4 + 2HNO_2$$





উৎপন্ন ফেনল মিশ্রণের স্টিম পাতন করে পাতিত অংশ ইথার দিয়ে নিষ্কাশন করলে ফেনলের ইথারীয় দ্রবণ পাওয়া যায়। এই দ্রবণে অনার্দ্র পটাশিয়াম কার্বনেট যোগ করে শুষ্ক করা হয় এবং ফিলটার করে ইথারীয় দ্রবণের পাতন করে ফেনল (180°–182°C তাপমাত্রায়) সংগ্রহ করা হয়। পরীক্ষাগারে এই পদ্ধতিতে ফেনল প্রস্তুত করা হয়।

(3) বেনজিন থেকে— বেনজিন এবং গাঢ় H_2SO_4-এর মিশ্রণকে উত্তপ্ত করলে বেনজিন সালফোনিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়। বিক্রিয়া শেষে NaOH যোগ করলে **সোডিয়াম বেনজিন সালফোনেট** উৎপন্ন হয়। উৎপন্ন শুষ্ক সোডিয়াম বেনজিন সালফোনেটকে NaOH সহ 300°C উষ্ণতায় গলিত করলে, **সোডিয়াম ফেনেট** উৎপন্ন হয়।

$$C_6H_6 + H_2SO_4 \longrightarrow C_6H_5SO_3H + H_2O$$
$$C_6H_5SO_3H + NaOH \longrightarrow C_6H_5SO_3Na + H_2O$$
$$C_6H_5SO_3Na + 2NaOH \longrightarrow C_6H_5ONa + Na_2SO_3 + H_2O$$

সোডিয়াম সালফাইট পুনরুদ্ধার করে পরবর্তী ব্যাচ-এর বেনজিন সালফোনিক অ্যাসিডকে সোডিয়াম লবণে পরিণত করার জন্য ব্যবহৃত হয় এবং উদ্ভুত SO_2 সোডিয়াম ফেনেট দ্রবণে চালনা করলে ফেনল উৎপন্ন হয়।

$$2C_6H_5SO_3H + Na_2SO_3 \longrightarrow 2C_6H_5ONa + H_2SO_3\,(H_2O + SO_2)$$
$$2C_6H_5ONa + H_2SO_3\,(H_2O + SO_2) \longrightarrow 2C_6H_5OH + Na_2SO_3$$

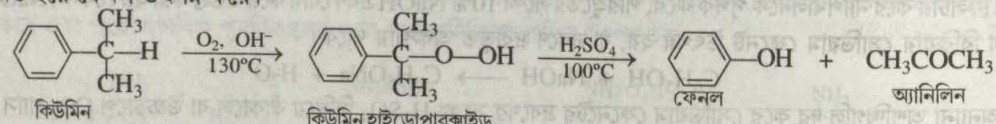
[আবার সোডিয়াম ফেনেটের জলীয় দ্রবণ লঘু HCl বা H_2SO_4 দ্বারা অম্লায়িত করলেও সোডিয়াম ফেনেট থেকে ফেনল পাওয়া যায়। $C_6H_6ONa + HCl \longrightarrow C_6H_5OH + NaCl$]

(4) ক্লোরোবেনজিন থেকে— (i) 200 অ্যাটমসফিয়ার চাপে এবং 300ºC তাপমাত্রায় ক্লোরোবেনজিন ও সোডিয়াম হাইড্রক্সাইড বিক্রিয়ায় সোডিয়াম ফেনেট উৎপন্ন হয়; একে আম্লিক করলে ফেনল পাওয়া যায়।

$$C_6H_5Cl + 2NaOH \xrightarrow[\text{200 বায়ুচাপ}]{300^\circ C} C_6H_5ONa + NaCl + H_2O$$

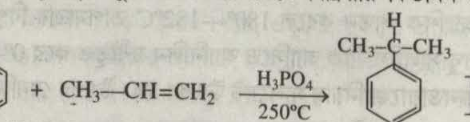
(ii) ক্লোরোবেনজিন ও স্টিমের মিশ্রণকে 425ºC তাপমাত্রায় সিলিকা জেলের (Silica gel) উপর দিয়ে চালনা করলে ফেনল প্রস্তুত হয়। $C_6H_5Cl + H_2O \longrightarrow C_6H_5OH + HCl$

(5) কিউমিন (Cumene) পদ্ধতি— কিউমিন (আইসোপ্রোপাইল বেনজিন)-এর ভিতর বায়ু চালনা করে কিউমিনকে বায়ুর O_2 দ্বারা জারিত করে কিউমিন হাইড্রোপারঅক্সাইডে পরিণত করা হয় এবং তা উষ্ণ ও লঘু H_2SO_4 অ্যাসিড (অনুঘটক) দ্বারা বিয়োজিত হয়ে ফেনল উৎপন্ন করে।



এই পদ্ধতি ফেনল উৎপাদনের একটি গুরুত্বপূর্ণ উৎস। এই পদ্ধতির তাৎপর্য হল যে এই পদ্ধতিতে উপজাত হিসাবে অ্যাসিটোন পাওয়া যায়।

[বেনজিন ও প্রোপিন 250ºC তাপমাত্রায় H_3PO_4 অনুঘটকের উপস্থিতিতে বিক্রিয়ায় কিউমিন উৎপন্ন করে।



]

(6) গ্রিগনার্ড বিকারকের সাহায্যে— ফিনাইল ম্যাগনেশিয়াম ব্রোমাইডের ইথারীয় দ্রবণে শুষ্ক অক্সিজেন গ্যাস চালনা করে উৎপন্ন যুত যৌগকে শীতল লঘু অ্যাসিড দ্বারা আর্দ্র বিশ্লেষিত করলে ফেনল উৎপন্ন হয়।

$$2C_6H_5MgBr \xrightarrow{O_2} 2C_6H_5OMgBr \xrightarrow{H_2O/H^+} 2C_6H_5OH$$

[B] ফেনলের ধর্ম ও রাসায়নিক বিক্রিয়া ঃ

1. ভৌত ধর্ম ঃ (i) ফেনল বর্ণহীন, জলাকর্ষী, কেলাসীয় কঠিন পদার্থ, গলনাঙ্ক 43ºC, স্ফুটনাঙ্ক 182ºC, **(ii)** জলের অণুর সঙ্গে H-বন্ধন গঠন করে বলে ফেনল সাধারণ তাপমাত্রায় আংশিক দ্রাব্য। তবে উষ্ণতা বৃদ্ধির সঙ্গে দ্রাব্যতা বাড়ে এবং 65·8ºC সেন্টিগ্রেড বা তার বেশি তাপমাত্রায় ফেনল জলে যে-কোনো অনুপাতে দ্রবণীয়। ফেনলের জলীয় দ্রবণ মৃদু অম্লধর্মী, নীল লিটমাস সিক্ত কাগজকে মৃদু লাল করে। **(iii)** ফেনলের বৈশিষ্ট্যপূর্ণ গন্ধ আছে যা 'কার্বলিক' গন্ধ বলে পরিচিত। ফেনল কার্বলিক অ্যাসিড হিসাবেও পরিচিত। **(iv)** ফেনল অত্যন্ত বিষাক্ত, ত্বকের সংস্পর্শে এলে ক্ষতের সৃষ্টি করে।

আলো ও বায়ুর সংস্পর্শে ফেনল সহজে জারিত হয়ে বিভিন্ন যৌগ উৎপন্ন করে। এই রঙিন যৌগগুলির উপস্থিতিতে ফেনলকে রঙিন (গোলাপি) দেখায়।

2. রাসায়নিক ধর্ম ও বিক্রিয়া ঃ

ফেনলের রাসায়নিক বিক্রিয়া দু'প্রকার—**(i) হাইড্রক্সিল (OH) গ্রুপের বিক্রিয়া, (ii) বেনজিন বলয়ের প্রতিস্থাপন বিক্রিয়া।**

(a) হাইড্রক্সিল (OH) গ্রুপের বিক্রিয়া ঃ

(1) অ্যাসিড ধর্ম ঃ ফেনল মৃদু অ্যাসিডধর্মী। জলীয় দ্রবণে সামান্য পরিমাণ বিয়োজিত হয়ে সুস্থিত ফেনোক্সাইড আয়ন উৎপন্ন করে।

$$C_6H_5OH + H_2O \rightleftharpoons \underset{\text{ফেনোক্সাইড আয়ন}}{C_6H_5O^-} + H_3O^+$$

ফেনলের অ্যাসিড ধর্ম কার্বক্সিলিক অ্যাসিডের চেয়ে কম। ফেনলে সোডিয়াম বাই কার্বনেট দ্রবণ যোগ করলে CO_2-এর বুদবুদ নির্গত হয় না।

ফেনলের অ্যাসিড ধর্ম কার্বনিক অ্যাসিডের চেয়েও কম, তাই সোডিয়াম ফেনেটের জলীয় দ্রবণে CO_2 চালনা করলে ফেনল মুক্ত হয়। $2C_6H_5ONa + CO_2 + H_2O \longrightarrow 2C_6H_5OH + Na_2CO_3$

অনুরূপে, সোডিয়াম ফেনেটের জলীয় দ্রবণে SO_2 চালনা করলেও ফেনল মুক্ত হয়।

$$2C_6H_5ONa + SO_2 + H_2O \longrightarrow 2C_6H_5OH + Na_2SO_3$$

ফেনল নীল লিটমাসকে সামান্য লাল করে। ফেনল ক্ষার দ্রবণে সহজেই দ্রবীভূত হয়ে ফেনেট লবণ উৎপন্ন করে। যেমন, লঘু NaOH দ্রবণে ফেনল দ্রবীভূত হয়ে **সোডিয়াম ফেনেট** উৎপন্ন করে।

$$C_6H_5OH + NaOH \longrightarrow \underset{\text{সোডিয়াম ফেনেট}}{C_6H_5ONa} + H_2O$$

অনার্দ্র ইথারীয় দ্রবণে সোডিয়াম ধাতুর সঙ্গে বিক্রিয়ায় সোডিয়াম ফেনেট উৎপন্ন হয় এবং H_2 মুক্ত হয়।

$$2C_6H_5OH + 2Na \longrightarrow 2C_6H_5ONa + H_2$$

(2) এস্টার গঠন : (i) অ্যাসিটাইলেশন : অ্যাসিটাইল ক্লোরাইড বা অ্যাসিটিক অ্যানহাইড্রাইডের সঙ্গে ফেনলের বিক্রিয়ায় ফেনলের H পরমাণু $COCH_3$ গ্রুপ দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে ফিনাইল অ্যাসিটেট এস্টার উৎপন্ন করে।

$$C_6H_5OH + CH_3COCl \longrightarrow \underset{\text{ফিনাইল অ্যাসিটেট}}{CH_3COOC_6H_5} + HCl$$

$$C_6H_5OH + (CH_3CO)_2O \longrightarrow \underset{\text{ফিনাইল অ্যাসিটেট}}{CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-OC_6H_5} + CH_3COOH$$

(ii) বেনজয়িলেশন : ফেনলকে বেনজয়িল ক্লোরাইড এবং অতিরিক্ত NaOH দ্রবণ সহযোগে ঝাঁকালে **ফিনাইল বেনজয়েট** উৎপন্ন হয়। $C_6H_5OH + C_6H_5COCl \longrightarrow C_6H_5COOC_6H_5 + HCl$

(3) ইথার গঠন : অ্যালকিলেশন : অ্যালকিল সালফেট বা অ্যালকিল হ্যালাইডের সঙ্গে ক্ষারীয় মাধ্যমে ফেনল বিক্রিয়া করে ইথার উৎপন্ন করে। প্রথমে NaOH দ্রবণে ফেনল সোডিয়াম ফেনোক্সাইডে পরিণত হয় যা অ্যালকিল হ্যালাইডের সঙ্গে বিক্রিয়ায় **ইথার** উৎপন্ন করে **(উইলিয়ামসন পদ্ধতি)**।

$$C_6H_5OH + NaOH \longrightarrow C_6H_5ONa + H_2O$$

$$C_6H_5ONa + C_2H_5I \longrightarrow \underset{\text{ফিনাইল ইথাইল ইথার (ফেনিটোল)}}{C_6H_5OC_2H_5} + NaI$$

সোডিয়াম ফেনেটের সঙ্গে ডাই-মিথাইল সালফেটের বিক্রিয়ায় **মিথাইল ফিনাইল ইথার** উৎপন্ন হয়।

$$2C_6H_5ONa + (CH_3)_2SO_4 \longrightarrow \underset{\text{অ্যানিসোল}}{2C_6H_5OCH_3} + Na_2SO_4$$

ফেনলের সঙ্গে ডায়াজোমিথেনের বিক্রিয়ায় **মিথাইল ফিনাইল ইথার** তৈরি হয়।

$$C_6H_5OH + CH_2N_2 \longrightarrow \underset{\text{মিথাইল ফিনাইল ইথার (অ্যানিসোল)}}{C_6H_5OCH_3} + N_2$$

(4) বিজারণ : জিঙ্ক চূর্ণের সঙ্গে পাতনে ফেনল বিজারিত হয়ে বেনজিন উৎপন্ন হয়।

$$C_6H_5OH + Zn \longrightarrow C_6H_6 + ZnO$$

(5) ফসফরাস পেন্টাক্লোরাইডের সঙ্গে বিক্রিয়া : PCl_5-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় ফেনল থেকে ক্লোরোবেনজিন এবং সেই সঙ্গে ট্রাই-ফিনাইল ফসফেটও উৎপন্ন হয়।

$$C_6H_5OH + PCl_5 \longrightarrow C_6H_5Cl + POCl_3 + HCl$$

$$3C_6H_5OH + POCl_3 \longrightarrow (C_6H_5)_3PO_4 + 3HCl$$

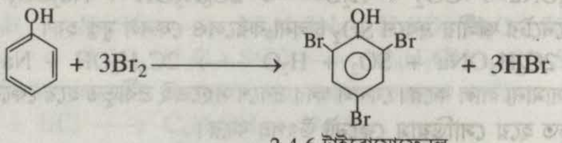
(6) অ্যামোনিয়ার সঙ্গে : অনার্দ্র $ZnCl_2$-এর উপস্থিতিতে উচ্চচাপে ফেনলের সঙ্গে অ্যামোনিয়া মিশিয়ে উত্তপ্ত করলে ফেনলের OH গ্রুপ NH_2 দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে অ্যানিলিন উৎপন্ন করে।

$$\underset{\text{ফেনল}}{C_6H_5OH} + NH_3 \xrightarrow[\text{তাপ}]{ZnCl_2} \underset{\text{অ্যানিলিন}}{C_6H_5NH_2} + H_2O$$

(7) ফেরিক ক্লোরাইডের সঙ্গে : ফেনলে কয়েক ফোঁটা প্রশম $FeCl_3$ দ্রবণ যোগ করলে বেগুনি বর্ণ উৎপন্ন হয়। একটি জটিল যৌগ, $[Fe(OC_6H_5)_6]^{3-}$ গঠনের জন্য বেগুনি বর্ণ উৎপন্ন হয়।

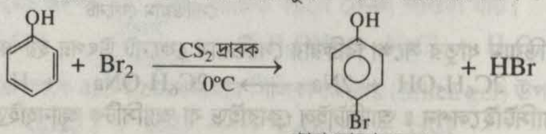
● বেনজিন বলয়ের প্রতিস্থাপন বিক্রিয়া ঃ

(1) হ্যালোজিনেশন ঃ (i) ব্রোমিনের সঙ্গে ঃ ফেনলের জলীয় দ্রবণে ব্রোমিন জল মিশিয়ে ঝাঁকালে 2, 4, 6-ট্রাই-ব্রোমো ফেনলের সাদা অধঃক্ষেপ পড়ে।



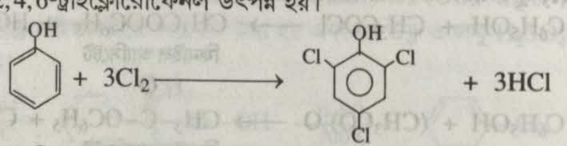
2, 4, 6 ট্রাইব্রোমোফেনল

কার্বন ডাইসালফাইড দ্রবণে ফেনল ব্রোমিনের সঙ্গে বিক্রিয়ায় মুখ্যত প্যারা ব্রোমোফেনল উৎপন্ন হয়।

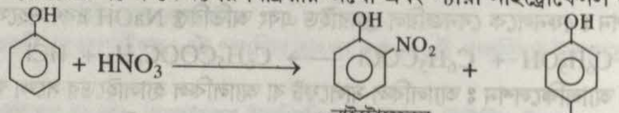


প্যারা ব্রোমোফেনল

(ii) ক্লোরিন জলের সঙ্গেও 2, 4, 6-ট্রাইক্লোরোফেনল উৎপন্ন হয়।



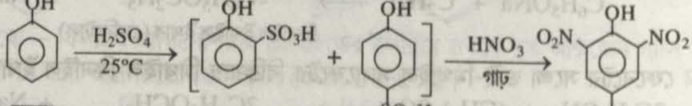
(2) নাইট্রেশন ঃ লঘু নাইট্রিক অ্যাসিডের সঙ্গে ফেনলের বিক্রিয়ায় অর্থো এবং প্যারা নাইট্রোফেনল উৎপন্ন হয়।



o-নাইট্রোফেনল   *p*-নাইট্রোফেনল

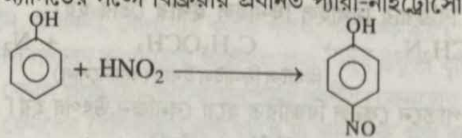
অর্থো-নাইট্রোফেনল স্টিম উদ্‌বায়ী হওয়ায় স্টিম পাতন দ্বারা এদের পৃথক করা যায়।

● 2, 4, 6-ট্রাইনাইট্রো ফেনল ঃ ফেনলের সঙ্গে প্রথমে গাঢ় H_2SO_4-এর বিক্রিয়ায় অর্থো এবং প্যারা-ফেনল সালফোনিক অ্যাসিড উৎপন্ন করা হয়। উৎপন্ন এই যৌগের মিশ্রণকে গাঢ় HNO_3-এর দ্বারা নাইট্রেশন করা হলে 2, 4, 6-ট্রাই নাইট্রোফেনল (পিকরিক অ্যাসিড) উৎপন্ন হয়।



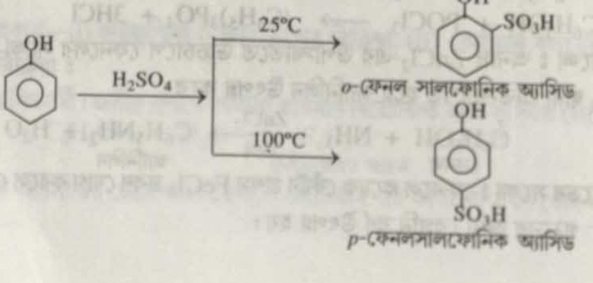
ফেনল   *o*-এবং *p*-সালফোনিক অ্যাসিড   পিকরিক অ্যাসিড

(3) নাইট্রোসেশন ঃ নাইট্রাস অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়ায় প্রধানত প্যারা-নাইট্রোসোফেনল উৎপন্ন হয়।



প্যারা নাইট্রোসোফেনল

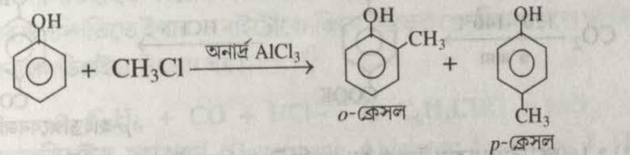
(4) সালফোনেশন ঃ গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের সঙ্গে ফেনলের বিক্রিয়ায় কম তাপমাত্রায় *o*-ফেনল সালফোনিক অ্যাসিড (*o*-হাইড্রক্সি বেনজিন সালফোনিক অ্যাসিড) এবং উচ্চ তাপমাত্রায় *p*-ফেনল সালফোনিক অ্যাসিড (*p*-হাইড্রক্সি বেনজিন সালফোনিক অ্যাসিড) উৎপন্ন করে।



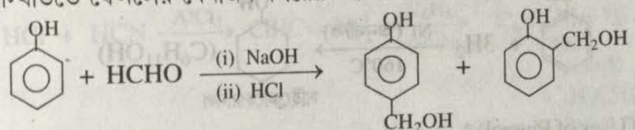
o-ফেনল সালফোনিক অ্যাসিড

p-ফেনলসালফোনিক অ্যাসিড

(5) ফ্রিডেল-ক্রাফ্টস বিক্রিয়া ঃ ফেনল অতিরিক্ত অনার্দ্র $AlCl_3$-এর উপস্থিতিতে অ্যালকিল ক্লোরাইডের সঙ্গে বিক্রিয়ায় অ্যালকিল ফেনল উৎপন্ন করে। $AlCl_3$ ফেনলের OH গ্রুপের সঙ্গে বিক্রিয়া করে HCl নির্গত করে। তাই অতিরিক্ত $AlCl_3$-এর প্রয়োজন হয়।

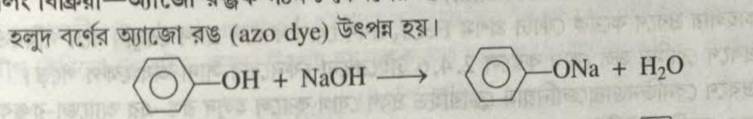


(6) ফর্ম্যালডিহাইডের সঙ্গে ঃ লেডেরার-ম্যানাসে (Lederer-Manasee) বিক্রিয়া ঃ ফেনলের সঙ্গে ফর্ম্যালডিহাইড লঘু অ্যাসিড বা ক্ষারের উপস্থিতিতে ফেনলের বেনজিন বলয়ের অর্থো এবং প্যারা অবস্থানে CH_2OH গ্রুপ প্রতিস্থাপিত হয়।

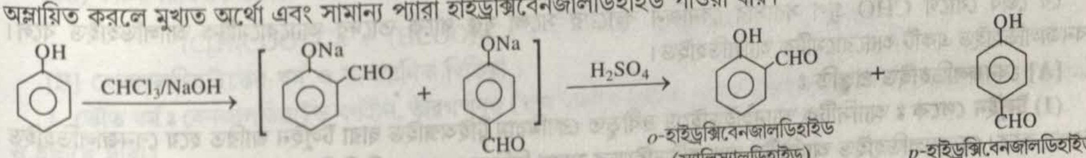


যখন অতিরিক্ত পরিমাণ ফর্ম্যালডিহাইড ব্যবহৃত হয় তখন ফেনলে একাধিক —CH_2OH গ্রুপ প্রতিস্থাপিত হয়। অর্থাৎ ক্ষার বা অ্যাসিডের উপস্থিতিতে ফেনল ধীরে ধীরে কনডেনসেশন বিক্রিয়ার মাধ্যমে পলিমার উৎপন্ন করে। ফেনল ও HCHO-এর পলিমার ফেনল-ফর্ম্যালডিহাইড রেজিন বা **ব্যাকেলাইট** নামেও পরিচিত।

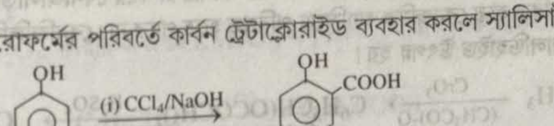
(7) কাপলিং বিক্রিয়া—অ্যাজো রঞ্জক গঠন ঃ ফেনলের শীতল ক্ষারীয় দ্রবণে শীতল বেনজিন ডায়াজোনিয়াম ক্লোরাইডের দ্রবণ মেশালে হলুদ বর্ণের অ্যাজো রঙ (azo dye) উৎপন্ন হয়।



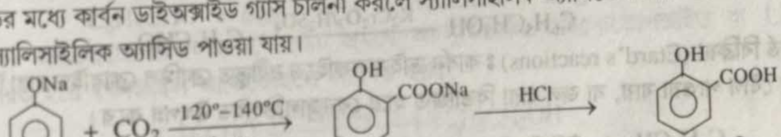
(8) রাইমার-টিম্যান বিক্রিয়া (Reimer-Tiemann reaction) ঃ ক্ষারীয় (NaOH বা KOH) দ্রবণে ফেনল ও ক্লোরোফর্ম যোগ করে উত্তপ্ত করলে সোডিয়াম লবণ হিসাবে অর্থো ও প্যারা হাইড্রক্সিবেনজালডিহাইডের মিশ্রণ উৎপন্ন হয়। মিশ্রণকে অ্যাসিড দ্বারা অম্লায়িত করলে মুখ্যত অর্থো এবং সামান্য প্যারা হাইড্রক্সিবেনজালডিহাইড পাওয়া যায়।



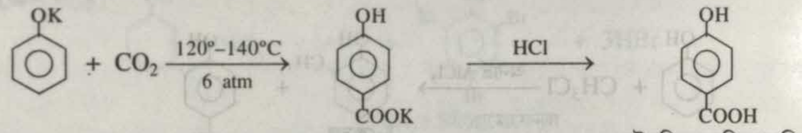
রাইমার-টিম্যান বিক্রিয়ায় ক্লোরোফর্মের পরিবর্তে কার্বন টেট্রাক্লোরাইড ব্যবহার করলে স্যালিসাইলিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।



(9) কোল্‌বে-শ্মিট বিক্রিয়া (Kolbe-Schmitt reactions) ঃ উচ্চচাপে (5–6 অ্যাটমসফিয়ার) 120º—140ºC তাপমাত্রায় সোডিয়াম ফেনোক্সাইডের মধ্যে কার্বন ডাইঅক্সাইড গ্যাস চালনা করলে স্যালিসাইলিক অ্যাসিডের সোডিয়াম লবণ পাওয়া যায়, একে অম্লায়িত করলে স্যালিসাইলিক অ্যাসিড পাওয়া যায়।

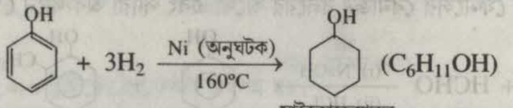


এই বিক্রিয়ায় সোডিয়াম ফেনোক্সাইডের পরিবর্তে পটাশিয়াম ফেনোক্সাইড ব্যবহার করলে মুখ্যত প্যারা আইসোমার—প্যারা হাইড্রক্সিবেনজয়িক অ্যাসিড পাওয়া যায়।



p-হাইড্রক্সিবেনজয়িক অ্যাসিড

(10) বিজারণ (যুত বিক্রিয়া) ঃ 160°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত Ni চূর্ণের উপর দিয়ে উচ্চচাপে হাইড্রোজেন গ্যাস ও ফেনল বাষ্প চালনা করলে ফেনল বিজারিত হয়ে সাইক্লোহেক্সানল উৎপন্ন করে।



সাইক্লোহেক্সানল

● **ফেনলের ব্যবহার** (Uses of Phenol) ঃ

(i) প্লাস্টিক এবং বেনজিন উৎপাদনে ফেনল মুখ্যত ব্যবহৃত হয়। ফর্ম্যালডিহাইডের সঙ্গে 'ব্যাকেলাইট' পরিমার তৈরি করা হয়। **(ii)** পিকরিক অ্যাসিড, ফিনলপথ্যালিন, স্যালিসাইলিক অ্যাসিড, অ্যাসপিরিন এবং নাইলন উৎপাদনে ব্যবহৃত হয়। **(iii)** ফেনল শক্তিশালী জীবাণুনাশক হিসাবে ব্যবহৃত হয়।

● **ফেনলের শনাক্তকরণ** (Identification of Phenol) ঃ

(1) ফেনলের অ্যালকোহলীয় দ্রবণে কয়েক ফোঁটা প্রশম $FeCl_3$ দ্রবণ যোগ করলে দ্রবণ বেগুনি বর্ণে পরিণত হয়।

(2) ফেনলের জলীয় দ্রবণে ব্রোমিন জল যোগ করলে 2, 4, 6 ট্রাইব্রোমো-ফেনলের সাদা অধঃক্ষেপ পড়ে।

(3) ফেনলের ক্ষারীয় দ্রবণে বেনজিনডায়াজোনিয়াম ক্লোরাইড দ্রবণ যোগ করলে হলুদ রঙ-এর অ্যাজো-রঞ্জক উৎপন্ন হয়।

(4) লিবারম্যান পরীক্ষা ঃ একটি টেস্টটিউবে গাঢ় H_2SO_4 ও সোডিয়াম নাইট্রাইটের কেলাস যোগ করে উত্তপ্ত করা হয়। এর মধ্যে কয়েক ফোঁটা ফেনল যোগ করলে দ্রবণটি গাঢ় সবুজ বা সবুজাভ নীল বর্ণে পরিণত হয়। এই দ্রবণে জল যোগ করলে দ্রবণের বর্ণ লাল হয়। এরপর অতিরিক্ত NaOH যোগ করলে দ্রবণের রঙ আবার নীল হয়ে যায়।

6.11. বেনজালডিহাইড [Benzaldehyde : C_6H_5CHO]

যে জৈব যৌগে CHO গ্রুপ সরাসরি বেনজিন বলয়ের সঙ্গে যুক্ত থাকে তাদের অ্যারোমেটিক অ্যালডিহাইড বলে। বেনজালডিহাইড একটি অ্যারোমেটিক অ্যালডিহাইড।

[A] বেনজলডিহাইড প্রস্তুতি ঃ

(1) টলুইন থেকে ঃ অ্যাসিটিক অ্যানহাইড্রাইডে দ্রবীভূত ক্রোমিয়াম ট্রাইঅক্সাইড দ্বারা টলুইন জারিত হয়ে বেনজালডিহাইড উৎপন্ন করে। বেনজালডিহাইড অ্যাসিটিক অ্যানহাইড্রাইডের সঙ্গে বিক্রিয়া করে বেনজিলিডিন অ্যাসিটেট উৎপন্ন করে, এইজন্য বেনজালডিহাইড পুনরায় জারিত হয়ে বেনজয়িক অ্যাসিডে পরিণত হতে পারে না। বেনজিলিডিন অ্যাসিটেটকে লঘু অ্যাসিড দ্বারা আর্দ্র বিশ্লেষণ করলে বেনজালডিহাইড উৎপন্ন হয়।

$$C_6H_5CH_3 \xrightarrow[(CH_3CO)_2O]{CrO_3} \underset{\text{বেনজিলিডিন অ্যাসিটেট}}{C_6H_5CH(OCOCH_3)_2} \xrightarrow{H_2SO_4} \underset{\text{বেনজালডিহাইড}}{C_6H_5CHO} + 2CH_3COOH$$

(2) বেনজাইল অ্যালকোহলের জারণ ঃ বেনজাইল অ্যালকোহলকে অ্যাসিটিক অ্যানহাইড্রাইড ও ক্রোমিয়াম ট্রাইঅক্সাইড দ্বারা অথবা $K_2Cr_2O_7$ ও H_2SO_4 দ্বারা জারিত করলে বেনজালডিহাইড উৎপন্ন হয়।

$$C_6H_5CH_2OH \xrightarrow{K_2Cr_2O_7/H_2SO_4} C_6H_5CHO$$

(3) এটার্ড বিক্রিয়া (Etard's reactions) ঃ কার্বন ডাইসালফাইডে দ্রবীভূত ক্রোমিল ক্লোরাইড দ্বারা টলুইনকে জারিত করলে একটি জটিল যৌগ পাওয়া যায়, যা জল দ্বারা বিভাজিত হয়ে বেনজালডিহাইড উৎপন্ন করে।

$$C_6H_5CH_3 + 2CrO_2Cl_2 \longrightarrow C_6H_5CH(OCrCl_2OH)_2 \xrightarrow{H_2O} C_6H_5CHO$$

(4) বেনজাল ক্লোরাইড লঘু অ্যাসিড দ্বারা আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়ে বেনজালডিহাইড উৎপন্ন হয়।

$$C_6H_5CHCl_2 + H_2O \xrightarrow{HCl} C_6H_5CHO + 2HCl$$

(5) গ্যাটারম্যান-কচ অ্যালডিহাইড সংশ্লেষণ (Gattermann-Koch Aldehyde Synthesis) **:** অল্প পরিমাণ CuCl মিশ্রিত অনার্দ্র $AlCl_3$ অনুঘটকের উপস্থিতিতে ইথার বা নাইট্রোবেনজিনে দ্রবীভূত বেনজিনের মধ্যে কার্বন মনোক্সাইড এবং HCl গ্যাসের মিশ্রণ চালনা করলে বেনজালডিহাইড উৎপন্ন হয়।

$$C_6H_6 + CO + HCl \xrightarrow{AlCl_3} C_6H_5CHO + HCl$$

(6) গ্যাটারম্যান অ্যালডিহাইড সংশ্লেষণ (Gattermann Aldehyde Synthesis) **:** অনার্দ্র $AlCl_3$-এর উপস্থিতিতে বেনজিনের সঙ্গে HCl এবং HCN গ্যাসের মিশ্রণ বিক্রিয়া করলে একটি ইমিন উৎপন্ন হয়, যার আর্দ্র বিশ্লেষণে বেনজালডিহাইড উৎপন্ন হয়।

$$HCl + HCN \xrightarrow{AlCl_3} ClHC{=}NH \xrightarrow[AlCl_3]{C_6H_6} \underset{\text{ইমিন}}{C_6H_5CH{=}NH} + HCl$$

$$C_6H_5CH{=}NH \xrightarrow{H_2O} C_6H_5CHO + NH_3$$

(7) রোজেনমান্ড বিজারণ (Rosenmund reduction) **:** $BaSO_4$ ও Pd অনুঘটকের উপস্থিতিতে ফুটন্ত জাইলিনে দ্রবীভূত বেনজোয়িল ক্লোরাইডকে হাইড্রোজেন গ্যাস দ্বারা বিজারিত করলে বেনজালডিহাইড উৎপন্ন হয়। বিজারণ ক্রিয়া এই অবস্থায় থামানোর জন্য কুইনোলিন-সালফার অনুঘটক বিষ হিসাবে ব্যবহার করা হয়।

$$C_6H_5COCl + H_2 \xrightarrow{Pd/BaSO_4} C_6H_5CHO + HCl$$

(8) স্টিফেন পদ্ধতি (Stephen's method) **:** ইথারে দ্রবীভূত ফিনাইল সায়ানাইডকে $SnCl_2$ এবং গাঢ় HCl দ্বারা বিজারিত করলে যে যৌগ (ইমিনো ক্লোরাইড লবণ) উৎপন্ন হয় তাকে জল দ্বারা আর্দ্র বিশ্লেষণ করলে বেনজালডিহাইড উৎপন্ন হয়।

$$C_6H_5CN \xrightarrow[\text{(ii) } H_2O]{\text{(i) } SnCl_2/HCl} C_6H_5CHO$$

(9) গ্রিগনার্ড বিকারকের মাধ্যমে : ফিনাইল ম্যাগনেশিয়াম ব্রোমাইড শীতল অবস্থায় ইথাইল ফর্মেট এস্টারের সঙ্গে বিক্রিয়ায় বেনজালডিহাইড উৎপন্ন করে।

$$C_6H_5MgBr + HCOOC_2H_5 \longrightarrow C_6H_5CHO + MgBr(OC_2H_5)$$

(10) ক্যালশিয়াম বেনজোয়েট এবং ক্যালশিয়াম ফর্মেটের মিশ্রণকে শুষ্ক পাতন করলে বেনজালডিহাইড পাওয়া যায়।

$$(C_6H_5COO)_2Ca + (HCOO)_2Ca \xrightarrow{\text{পাতন}} 2C_6H_5CHO + 2CaCO_3$$

[B] বেনজালডিহাইডের ধর্ম ও রাসায়নিক বিক্রিয়া :

1. ভৌত ধর্ম : বেনজালডিহাইড বর্ণহীন, তীব্রগন্ধযুক্ত (গন্ধ বাদামের মতো) তরল। স্ফুটনাঙ্ক 179ºC, জলে অদ্রাব্য, ইথানল ও ইথারে দ্রাব্য।

2. রাসায়নিক ধর্ম ও বিক্রিয়া :

(1) জারণ : (i) আম্লিক $K_2Cr_2O_7$, ক্ষারীয় বা প্রশম $KMnO_4$, লঘু HNO_3 দ্বারা বেনজালডিহাইড জারিত হয়ে বেনজোয়িক অ্যাসিডে পরিণত হয়।

$$C_6H_5CHO \xrightarrow[KMnO_4]{[O]} C_6H_5COOH$$

(ii) বেনজালডিহাইড সহজেই জারিত হয় বলে নিজে তীব্র বিজারক। বেনজালডিহাইড অ্যামোনিয়াযুক্ত সিলভার নাইট্রেট দ্রবণ বা টলেন্স বিকারককে বিজারিত করে ধাতব সিলভারের অধঃক্ষেপ উৎপন্ন করে।

$$C_6H_5CHO + Ag_2O \longrightarrow C_6H_5COOH + 2Ag\downarrow$$

(2) বিজারণ : (i) আইসোপ্রোপাইল অ্যালকোহলীয় দ্রবণে অ্যালুমিনিয়াম আইসোপ্রোপক্সাইড বা $LiAlH_4$ দ্বারা বেনজালডিহাইড বিজারিত হয়ে **বেনজাইল অ্যালকোহলে** পরিণত হয়।

$$C_6H_5CHO \xrightarrow[\text{(ii) } H_2O]{\text{(i) } LiAlH_4} C_6H_5CH_2OH$$

(ii) ক্লিমেনসন বিজারণ ঃ জিঙ্ক-পারদ সংকর এবং গাঢ় HCl অ্যাসিড দ্বারা বিজারিত হয়ে বেনজালডিহাইড **টলুইনে** পরিণত হয়।

$$C_6H_5CHO \xrightarrow[HCl]{Zn/Hg} C_6H_5CH_3$$

(3) PCl_5-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় ঃ বেনজালডিহাইড PCl_5-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় **বেনজিলিডিন ক্লোরাইড** উৎপন্ন করে।

$$C_6H_5CHO + PCl_5 \longrightarrow \underset{\text{বেনজিলিডিন ক্লোরাইড}}{C_6H_5CHCl_2} + POCl_3$$

(4) ক্লোরিনের সঙ্গে বিক্রিয়ায় বেনজোয়িল ক্লোরাইড উৎপন্ন হয়।

$$C_6H_5CHO + Cl_2 \longrightarrow C_6H_5COCl + HCl$$

(5) যুত-যৌগ গঠন ঃ অ্যালডিহাইডের কার্বনিল গ্রুপে নিউক্লিওফিলীয় সংযুক্তির মাধ্যমে যুত-যৌগ গঠিত হয়। কার্বনিল গ্রুপের কার্বন পজিটিভ চার্জযুক্ত এবং অক্সিজেন নেগেটিভ চার্জযুক্ত হয়, ($\gt \overset{\delta+}{C} = \overset{\delta-}{O}$)। সুতরাং বিকারকের পজিটিভ অংশ সর্বদা কার্বনিল অক্সিজেনের সঙ্গে এবং নেগেটিভ অংশ কার্বনিল কার্বনের সঙ্গে যুক্ত হবে।

(i) বেনজালডিহাইড, **HCN-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায়** সায়ানোহাইড্রিন উৎপন্ন করে যা লঘু অ্যাসিডে আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়ে **ম্যানডেলিক অ্যাসিডে** পরিণত হয়।

$$C_6H_5CHO + HCN \rightleftharpoons \underset{\text{বেনজালডিহাইড সায়ানোহাইড্রিন}}{C_6H_5CH(OH)CN} \xrightarrow{H_2O/H^+} \underset{\text{ম্যানডেলিক অ্যাসিড}}{C_6H_5CH(OH)COOH}$$

(ii) সোডিয়াম বাইসালফাইটের সম্পৃক্ত দ্রবণের সঙ্গে বাইসালফাইট যৌগ গঠন করে।

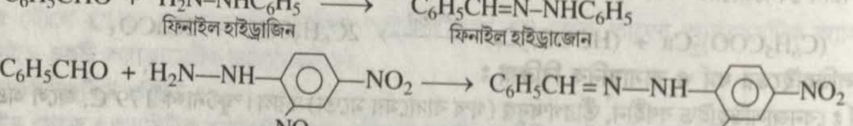
$$C_6H_5CHO + NaHSO_3 \rightleftharpoons C_6H_5CH(OH)SO_3Na$$

(6) নাইট্রোজেন ঘটিত বিকারকের সঙ্গে ঃ বেনজালডিহাইড, হাইড্রক্সিল অ্যামিনের সঙ্গে অক্সিম, হাইড্রাজিনের সঙ্গে হাইড্রাজোন এবং অ্যাজাইন, ফিনাইল হাইড্রাজিনের সঙ্গে ফিনাইল হাইড্রাজোন এবং 2,4 ডাইনাইট্রোফিনাইল হাইড্রাজিনের সঙ্গে 2,4 ডাইনাইট্রো ফিনাইল হাইড্রাজোন গঠন করে।

$$C_6H_5CHO + \underset{\text{হাইড্রক্সিল অ্যামিন}}{H_2NOH} \longrightarrow \underset{\text{বেনজালডক্সিম}}{C_6H_5CH{=}NOH}$$

$$C_6H_5CHO + \underset{\text{হাইড্রাজিন}}{H_2NNH_2} \longrightarrow \underset{\text{হাইড্রাজোন}}{C_6H_5CH{=}NNH_2} \xrightarrow{C_6H_5CHO} \underset{\text{বেনজিলিডিন অ্যাজাইন}}{C_6H_5CH{=}N{-}N{=}CHC_6H_5}$$

$$C_6H_5CHO + \underset{\text{ফিনাইল হাইড্রাজিন}}{H_2N{-}NHC_6H_5} \longrightarrow \underset{\text{ফিনাইল হাইড্রাজোন}}{C_6H_5CH{=}N{-}NHC_6H_5}$$



2,4-ডাইনাইট্রোফিনাইল হাইড্রাজোন

(7) ক্যানিজারো বিক্রিয়া ঃ বেনজালডিহাইডে α-হাইড্রোজেন পরমাণু উপস্থিত না থাকায় গাঢ় ও উত্তপ্ত NaOH বা KOH দ্রবণের সঙ্গে বিক্রিয়ায় বেনজালডিহাইডের এক অণু জারিত হয়ে বেনজোয়িক অ্যাসিডের Na বা K লবণ এবং অপর অণু বিজারিত হয়ে বেনজাইল অ্যালকোহলে পরিণত হয়।

$$2C_6H_5CHO \xrightarrow{NaOH} \underset{\text{বেনজাইল অ্যালকোহল}}{C_6H_5CH_2OH} + \underset{\text{সোডিয়াম বেনজোয়েট}}{C_6H_5COONa}$$

(8) ক্লেইসেন-স্মিড বিক্রিয়া (Claisen-Schmidt reaction) **ঃ** ক্ষারীয় অনুঘটকের উপস্থিতিতে বেনজালডিহাইড α-হাইড্রোজেন পরমাণুযুক্ত অ্যালিফ্যাটিক অ্যালডিহাইড কিংবা কিটোনের সঙ্গে বিক্রিয়ায় α,β-অসংপৃক্ত কার্বনিল যৌগ উৎপন্ন করে।

$$C_6H_5CH\boxed{O + H_2}\underset{\text{অ্যাসিটালডিহাইড}}{CHCHO} \xrightarrow[-H_2O]{NaOH/\Delta} \underset{\text{সিনামালডিহাইড}}{C_6H_5CH{=}CHCHO}$$

(9) পার্কিন বিক্রিয়া (Perkin reaction) ঃ কোনো অ্যারোমেটিক অ্যালডিহাইডকে কোনো অ্যালিফ্যাটিক অ্যাসিড অ্যানহাইড্রাইড এবং ওই অ্যাসিডের অনার্দ্র সোডিয়াম লবণ সহযোগে রিফ্লাক্স করলে α, β-অসংপৃক্ত অ্যাসিড উৎপন্ন হয়। বেনজালডিহাইডকে অ্যাসিটিক অ্যানহাইড্রাইড ও সোডিয়াম অ্যাসিটেট সহযোগে 180ºC তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করলে **সিনামিক অ্যাসিড** উৎপন্ন হয়।

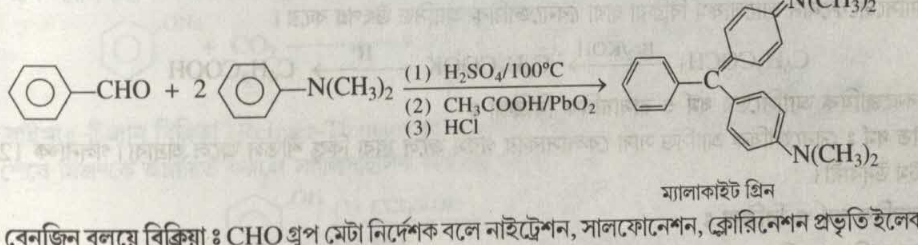
$$C_6H_5CHO + (CH_3CO)_2O \xrightarrow[180^\circ C]{CH_3COONa} \underset{\text{সিনামিক অ্যাসিড}}{C_6H_5CH=CHCOOH} + CH_3COOH$$

(10) বেনজোয়েন কনডেনসেশন (Benzoin condensation) ঃ জলীয় ইথানল যুক্ত পটাশিয়াম সায়ানাইডের সঙ্গে দুই অণু বেনজালডিহাইডের বিক্রিয়ায় **বেনজোয়েন** নামক একটি কিটো অ্যালকোহল যৌগ উৎপন্ন হয়।

$$2C_6H_5CHO \xrightarrow[H_2O + C_2H_5OH]{KCN} C_6H_5-\underset{OH}{CH}-\underset{O}{\overset{}{C}}-C_6H_5$$

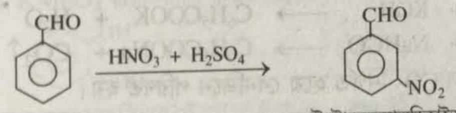
বেনজোয়েন

(11) ম্যালাকাইট গ্রিন (Malachite green) **গঠন** ঃ ডাইমিথাইল অ্যানিলিন, গাঢ় H_2SO_4 এবং বেনজালডিহাইডের মিশ্রণকে 100ºC তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করলে একটি বর্ণহীন পদার্থ উৎপন্ন হয়। উৎপন্ন বর্ণহীন পদার্থকে CH_3COOH-এ দ্রবীভূত PbO_2 দ্বারা জারিত করে গাঢ় HCl মেশালে সবুজ বর্ণের 'ম্যালকাইট গ্রিন' নামে এক জৈব রঙ উৎপন্ন হয়।



ম্যালাকাইট গ্রিন

(12) বেনজিন বলয়ে বিক্রিয়া ঃ CHO গ্রুপ মেটা নির্দেশক বলে নাইট্রেশন, সালফোনেশন, ক্লোরিনেশন প্রভৃতি ইলেকট্রোফিলিক প্রতিস্থাপন বিক্রিয়ায় মেটা আইসোমার তৈরি হয়।



m-নাইট্রোবেনজালডিহাইড

● **বেনজালডিহাইডের ব্যবহার** (Uses of Bengaldehyde) ঃ **(i)** বেনজালডিহাইড বিভিন্ন দ্রব্য বিশেষ গন্ধবিশিষ্ট (Flavouring) করার জন্য ব্যবহৃত হয়, **(ii)** সুগন্ধি দ্রব্যসমূহ প্রস্তুতিতে এবং **(iii)** রঞ্জক শিল্পে বেনজালডিহাইড ব্যবহৃত হয়।

● **বেনজালডিহাইডের শনাক্তকরণ** ঃ **(i)** টোলেন্স বিকারককে বিজারিত করে ধূসর ধাতব সিলভারের অধঃক্ষেপ ফেলে। **(ii)** সবুজ বর্ণের 'ম্যালাকাইট গ্রিন' নামক জৈব রঙ উৎপন্ন করে।

6.12. বেনজোয়িক অ্যাসিড [Benzoic acid (C_6H_5COOH)]

[A] বেনজোয়িক অ্যাসিড প্রস্তুতি ঃ

(1) পার্শ্ব-শৃঙ্খলের জারণ ঃ ক্ষারীয় $KMnO_4$, $K_2Cr_2O_7$ এবং গাঢ় H_2SO_4 বা লঘু HNO_3 দ্বারা টলুইন বা অন্য অ্যালকিল বেনজিন জারিত হয়ে বেনজোয়িক অ্যাসিড উৎপন্ন করে।

$$C_6H_5CH_3 \xrightarrow[K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4]{[O]} C_6H_5COOH$$

(2) সায়ানাইডের আর্দ্র বিশ্লেষণ ঃ লঘু অ্যাসিড দ্বারা ফিনাইল সায়ানাইডের আর্দ্র বিশ্লেষণ করলে বেনজোয়িক অ্যাসিড পাওয়া যায়।

$$C_6H_5CN \xrightarrow{H_2O/H^+} C_6H_5COOH + NH_3$$

(3) গ্রিগনার্ড বিকারকের সাহায্যে ঃ মিথাইল ম্যাগনেশিয়াম ব্রোমাইডের ইথার দ্রবণে CO_2 গ্যাস চালনা করলে উৎপন্ন পদার্থকে লঘু অ্যাসিডযুক্ত জল দ্বারা আর্দ্র বিশ্লেষণ করলে বেনজোয়িক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।

$$C_6H_5MgBr + CO_2 \longrightarrow C_6H_5COOMgBr \xrightarrow{H_2O/H^+} C_6H_5COOH$$

(4) ফ্রিডেল-ক্র্যাফ্‌টস বিক্রিয়ার সাহায্যে ঃ অনার্দ্র $AlCl_3$-এর উপস্থিতিতে বেনজিনের সঙ্গে অতিরিক্ত কার্বনিল ক্লোরাইডের বিক্রিয়ায় বেনজোয়িল ক্লোরাইড উৎপন্ন হয়। একে আর্দ্র-বিশ্লেষণ করলে বেনজোয়িক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।

$$C_6H_6 + COCl_2 \xrightarrow{AlCl_3} C_6H_5COCl \xrightarrow{H_2O/H^+} C_6H_5COOH$$

(5) বেনজাইল ক্লোরাইড, Na_2CO_3 এবং $KMnO_4$-এর মিশ্রণকে উত্তপ্ত করলে বেনজোয়িক অ্যাসিড পাওয়া যায়।

$$2C_6H_5CH_2Cl + Na_2CO_3 + H_2O \longrightarrow 2C_6H_5CH_2OH + 2NaCl + CO_2$$

$$\downarrow KMnO_4 \text{ জারণ}$$

$$2C_6H_5COOH$$

(6) বেনজোট্রাইক্লোরাইডকে $Ca(OH)_2$ দ্বারা আর্দ্র বিশ্লেষণ করলে বেনজোয়িক অ্যাসিড পাওয়া যায়।

$$C_6H_5CH_3 \xrightarrow[\text{সূর্যালোক}]{3Cl_2} C_6H_5CCl_3 \xrightarrow{Ca(OH)_2} C_6H_5COOH$$

(7) অ্যাসিটোফেনোন হ্যালোফর্ম বিক্রিয়া দ্বারা বেনজোয়িক অ্যাসিড উৎপন্ন করে।

$$C_6H_5COCH_3 \xrightarrow{Br_2/KOH} C_6H_5COOK \xrightarrow{H^+} C_6H_5COOH$$

[B] বেনজোয়িক অ্যাসিডের ধর্ম ও রাসায়নিক বিক্রিয়া ঃ

1. ভৌত ধর্ম ঃ বেনজোয়িক অ্যাসিড সাদা কেলাসাকার গরম জলে দ্রাব্য কিন্তু শীতল জলে অদ্রাব্য। গলনাঙ্ক 121°C, এই অ্যাসিড স্টিম উদ্‌বায়ী।

2. রাসায়নিক ধর্ম ও বিক্রিয়া ঃ

(1) বেনজোয়িক অ্যাসিড ক্ষারের সঙ্গে লবণ ও জল এবং বাই কার্বনেট থেকে CO_2 গ্যাস নির্গত করে।

$$C_6H_5COOH + KOH \longrightarrow C_6H_5COOK + H_2O$$

$$C_6H_5COOH + NaHCO_3 \longrightarrow C_6H_5COONa + CO_2\uparrow + H_2O$$

(2) সোডালাইমের সঙ্গে উত্তপ্ত করলে CO_2 নির্গত হয়ে বেনজিনে পরিণত হয়।

$$C_6H_5COOH \xrightarrow[\Delta]{CaO + NaOH} C_6H_6 + Na_2CO_3 + H_2O$$

(3) $LiAlH_4$ দ্বারা বিজারণে বেনজাইল অ্যালকোহল উৎপন্ন হয়।

$$C_6H_5COOH \xrightarrow{LiAlH_4} C_6H_5CH_2OH$$

(4) NH_3-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় বেনজামাইড এবং PCl_5 বা $SOCl_2$-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় বেনজোয়িল ক্লোরাইড উৎপন্ন হয়।

$$C_6H_5COOH + NH_3 \longrightarrow C_6H_5CONH_2 + H_2O$$

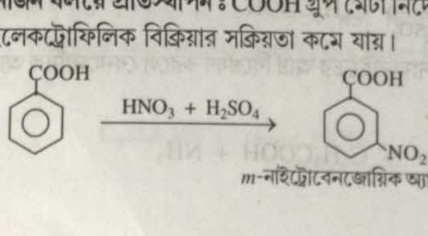
$$C_6H_5COOH + PCl_5 \longrightarrow C_6H_5COCl + POCl_3 + HCl$$

$$C_6H_5COOH + SOCl_2 \longrightarrow C_6H_5COCl + SO_2 + HCl$$

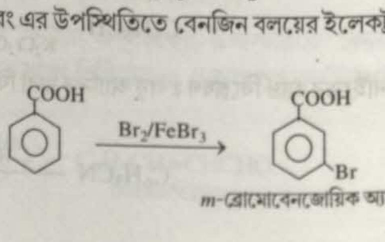
(5) গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড, বেনজোয়িক অ্যাসিড ও ইথানলকে উত্তপ্ত করলে ইথাইল বেনজোয়েট এস্টার প্রস্তুত হয়।

$$C_6H_5COOH + C_2H_5OH \xrightleftharpoons{H_2SO_4} C_6H_5COOC_2H_5 + H_2O$$

(6) বেনজিন বলয়ে প্রতিস্থাপন ঃ COOH গ্রুপ মেটা নির্দেশক এবং এর উপস্থিতিতে বেনজিন বলয়ের ইলেকট্রন ঘনত্ব কমে যায় ফলে ইলেকট্রোফিলিক বিক্রিয়ার সক্রিয়তা কমে যায়।



m-নাইট্রোবেনজোয়িক অ্যাসিড



m-ব্রোমোবেনজোয়িক অ্যাসিড

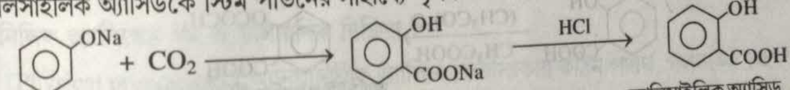
● **বেনজোয়িক অ্যাসিডের ব্যবহার ঃ** ওষুধ এবং রঞ্জক শিল্পে বেনজোয়িক অ্যাসিড ব্যবহৃত হয়। খাদ্যদ্রব্য সংরক্ষণ করতে সোডিয়াম বেনজোয়েট ব্যবহৃত হয়।

● **বেনজোয়িক অ্যাসিডের শনাক্তকরণ পরীক্ষা ঃ (i)** সোডালাইমের সঙ্গে মিশিয়ে উত্তপ্ত করলে বিশিষ্ট গন্ধযুক্ত বেনজিনের বাষ্প নির্গত হয়। এতে অগ্নিসংযোগ করলে ঘন কালো ধোঁয়ার সৃষ্টি হয়। **(ii)** সোডিয়াম বেনজোয়েটের জলীয় দ্রবণে প্রশম ফেরিক ক্লোরাইড যোগ করলে ফেরিক বেনজোয়েটের হলুদ বর্ণের অধঃক্ষেপ পড়ে। এতে লঘু HCl যোগ করলে হলুদ অধঃক্ষেপ দ্রবীভূত হয়ে সাদা অধঃক্ষেপ (বেনজোয়িক অ্যাসিড) সৃষ্টি হয়। **(iii)** বেনজোয়িক অ্যাসিড ও ইথাইল অ্যালকোহলের মিশ্রণকে কয়েক ফোঁটা গাঢ় H_2SO_4 সহ উত্তপ্ত করলে এস্টারের মিষ্ট গন্ধ পাওয়া যায়।

6.13. স্যালিসাইলিক অ্যাসিড বা *o*-হাইড্রক্সিবেনজোয়িক অ্যাসিড [Salicylic acid or *o*-Hydroxy benzoic acid]

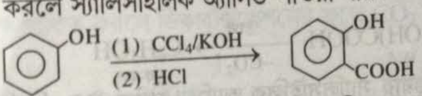
[A] স্যালিসাইলিক অ্যাসিড প্রস্তুতি (Preparation of salicylic acid) ঃ

(1) কোল্‌বে স্মিট্ বিক্রিয়া (Kolbe-Schmitt reaction) ঃ 5–6 অ্যাটমসফিয়ার চাপে সোডিয়াম ফেনোক্সাইডকে কার্বন ডাইঅক্সাইডের সঙ্গে 120ºC—140ºC তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করলে সোডিয়াম স্যালিসাইলেট উৎপন্ন হয়। এর জলীয় দ্রবণ অম্লায়িত করলে স্যালিসাইলিক অ্যাসিড মুক্ত হয়। সামান্য পরিমাণ প্যারা আইসোমার (*p*-হাইড্রক্সি বেনজোয়িক অ্যাসিড) উৎপন্ন হয়। স্টিম উদ্বায়ী বলে স্যালিসাইলিক অ্যাসিডকে স্টিম পাতনের সাহায্যে পৃথক করা হয়।

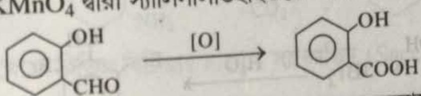


স্যালিসাইলিক অ্যাসিড

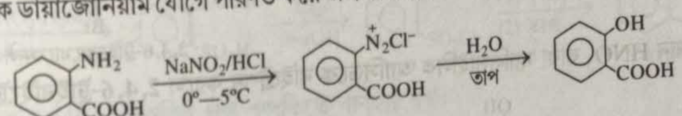
(2) রাইমার-টিম্যান বিক্রিয়া (Reimer-Tiemann reaction) ঃ ফেনল, CCl_4 ও KOH-এর জলীয় দ্রবণকে উত্তপ্ত করে বিক্রিয়া শেষে মিশ্রণকে অম্লায়িত করলে স্যালিসাইলিক অ্যাসিড পাওয়া যায়।



(3) লঘু HNO_3 বা ক্ষারীয় $KMnO_4$ দ্বারা স্যালিসালডিহাইডকে জারিত করলে স্যালিসাইলিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।



(4) অ্যানথ্রানিলিক অ্যাসিডকে ডায়াজোনিয়াম যৌগে পরিণত করে জল সহযোগে উত্তপ্ত করলে স্যালিসাইলিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।



[B] স্যালিসাইলিক অ্যাসিডের ধর্ম ও রাসায়নিক বিক্রিয়া ঃ

1. ভৌত ধর্ম ঃ স্যালিসাইলিক অ্যাসিড বর্ণহীন কেলাসাকার, গলনাঙ্ক 159ºC, ঠান্ডা জলে স্বল্প দ্রাব্য, গরম জলে দ্রাব্য। অভ্যন্তরীণ হাইড্রোজেন বন্ধনের জন্য স্যালিসাইলিক অ্যাসিড *m* এবং *p*-আইসোমার অপেক্ষা উদ্বায়ী। এই অ্যাসিড বেনজোয়িক অ্যাসিড অপেক্ষা তীব্রতর অ্যাসিড।

2. রাসায়নিক ধর্ম ও বিক্রিয়া ঃ

স্যালিসাইলিক অ্যাসিডে ফেনলীয় OH গ্রুপ এবং COOH গ্রুপ বর্তমান। এজন্য ফেনল ও অ্যাসিড—দু'ধর্মই প্রকাশ পায়। অ্যাসিড হিসাবে বাইকার্বনেট থেকে CO_2 গ্যাস নির্গত করে লবণ, এস্টার গঠন করে। ফেনলীয় যৌগ হিসাবে $FeCl_3$ দ্রবণে বেগুনি বর্ণ ধারণ করে, অ্যাসিটাইল যৌগ গঠন করে।

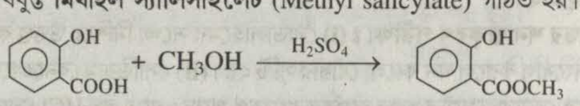
(1) সোডিয়াম বাইকার্বনেটের সঙ্গে CO_2 গ্যাস নির্গত হয় এবং COOH গ্রুপটি লবণ গঠন করে।

$$C_6H_4(OH)COOH + NaHCO_3 \longrightarrow C_6H_4(OH)COONa + CO_2\uparrow + H_2O$$

(2) কস্টিক সোডা দ্রবণে OH এবং COOH গ্রুপ উভয়ই লবণ গঠন করে।

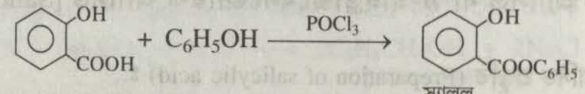
$$C_6H_4(OH)COOH + 2NaOH \longrightarrow C_6H_4(ONa)COONa + 2H_2O$$

(3) এস্টার গঠন ঃ (i) স্যালিসাইলিক অ্যাসিড ও মিথাইল অ্যালকোহলের মিশ্রণকে গাঢ় H_2SO_4-এর উপস্থিতিতে উত্তপ্ত করলে উইন্টার গ্রিন তেলের গন্ধযুক্ত **মিথাইল স্যালিসাইলেট** (Methyl salicylate) গঠিত হয়।



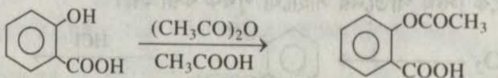
মিথাইল স্যালিসাইলেট বেদনানাশক হিসাবে ব্যবহৃত হয়।

(ii) ফসফরাস অক্সিক্লোরাইডের উপস্থিতিতে ফেনল এবং স্যালিসাইলিক অ্যাসিড নিয়ে উত্তপ্ত করলে **ফিনাইল স্যালিসাইলেট বা স্যালল** (Phenyl Salicylate or Salal) উৎপন্ন হয়।



স্যালল

(4) অ্যাসিটাইলেশন ঃ স্যালিসাইলিক অ্যাসিডকে অ্যাসিটিক অ্যানহাইড্রাইড ও গ্লেসিয়াল অ্যাসিটিক অ্যাসিড সহযোগে উত্তপ্ত করলে OH গ্রুপের হাইড্রোজেন পরমাণু অ্যাসিটাইল (CH_3CO) গ্রুপ দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে **অ্যাসিটাইল স্যালিসাইলিক অ্যাসিড** (অ্যাসপিরিন) উৎপন্ন হয়।

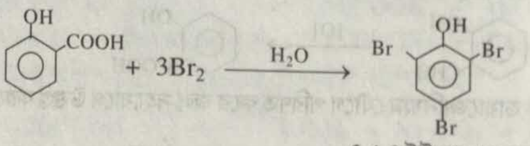


অ্যাসিটাইল স্যালিসাইলিক অ্যাসিড

(5) দ্রুত উত্তপ্ত করলে স্যালিসাইলিক অ্যাসিড ঊর্ধ্বপাতিত হয়। ধীরে ধীরে উত্তপ্ত করলে কিংবা সোডালাইম সহ উত্তপ্ত করলে CO_2 নির্গত হয়ে **ফেনল** উৎপন্ন হয়।

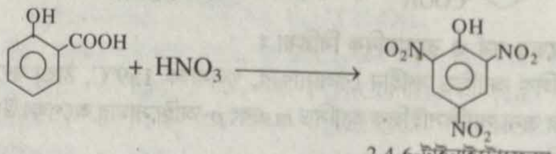
$$C_6H_4(OH)COOH \xrightarrow[-CO_2\uparrow]{\text{তাপ}} \underset{\text{ফেনল}}{C_6H_5OH}$$

(6) অতিরিক্ত ব্রোমিন জলের সঙ্গে বিক্রিয়ায় স্যালিসাইলিক অ্যাসিড থেকে CO_2 নির্গত হয়ে **2,4,6-ট্রাইব্রোমোফেনল** উৎপন্ন হয়।



2,4,6-ট্রাইব্রোমোফেনল

(7) ধূমায়মান HNO_3 দ্বারা স্যালিসাইলিক অ্যাসিডকে নাইট্রেশন করলে **2,4,6-ট্রাইনাইট্রোফেনল** উৎপন্ন হয়।



2,4,6-ট্রাইনাইট্রোফেনল

●স্যালিসাইলিক অ্যাসিডের ব্যবহার (Uses of Salicylic acid) **ঃ**

(i) বিভিন্ন রকমের ওষুধ প্রস্তুত করতে স্যালিসাইলিক অ্যাসিড ব্যবহৃত হয়। মিথাইল স্যালিসাইলেট বাতের ওষুধ হিসাবে এবং মচকানোজনিত ব্যাথা উপশমের জন্য, অ্যাসপিরিন—মাথার বেদনা উপশমের জন্য, স্যালল পচন নিবারক হিসাবে ব্যবহৃত হয়। **(ii)** খাদ্যদ্রব্য সংরক্ষণে, রঞ্জক এবং সুগন্ধি প্রস্তুতিতে স্যালিসাইলিক অ্যাসিড ব্যবহৃত হয়।

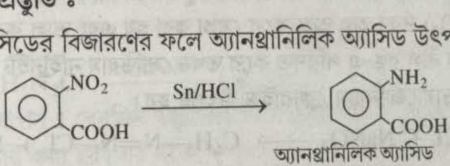
●স্যালিসাইলিক অ্যাসিডের শনাক্তকরণ পরীক্ষা ঃ

(i) স্যালিসাইলিক অ্যাসিডকে সোডালাইমের সঙ্গে উত্তপ্ত করলে ফেনলের গন্ধ পাওয়া যায়। **(ii)** স্যালিসাইলিক অ্যাসিডের ইথানলীয় দ্রবণে প্রশম $FeCl_3$ দ্রবণ যোগ করলে বেগুনি বর্ণ উৎপন্ন হয়। **(iii)** গাঢ় H_2SO_4-এর উপস্থিতিতে স্যালিসাইলিক অ্যাসিড ও মিথানল মিশ্রণকে উত্তপ্ত করলে উইন্টার গ্রিন তেলের গন্ধযুক্ত মিথাইল স্যালিসাইলেট উৎপন্ন হয়।

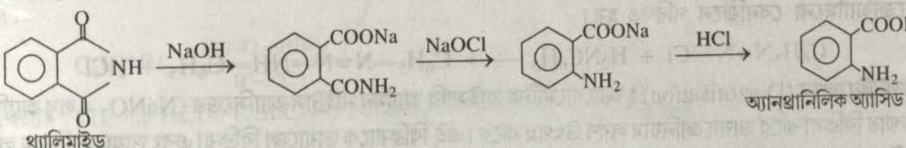
6.14. অ্যানথ্রানিলিক অ্যাসিড বা অর্থো-অ্যামিনো বেনজোয়িক অ্যাসিড [Anthranilic acid]

[A] অ্যানথ্রাননিলিক অ্যাসিড প্রস্তুতি ঃ

(i) *o*-নাইট্রোবেনজোয়িক অ্যাসিডের বিজারণের ফলে অ্যানথ্রানিলিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।



(ii) পণ্য পদ্ধতি ঃ থ্যালিমাইডকে সোডিয়াম হাইড্রক্সাইড ও সোডিয়াম হাইপোক্লোরাইট দ্রবণ দ্বারা জারিত করে (হফ্‌ম্যান পদ্ধতি) অ্যানথ্রানিলিক অ্যাসিড উৎপন্ন করা হয়।

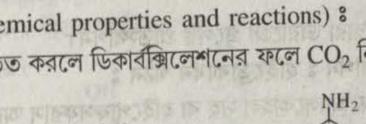


[B] অ্যানথ্রানিলিক অ্যাসিডের ধর্ম ও রাসায়নিক বিক্রিয়া ঃ

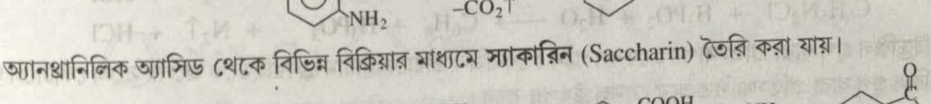
1. ভৌত ধর্ম (Physical properties) ঃ অ্যানথ্রানিলিক অ্যাসিড কেলাসাকার কঠিন পদার্থ, গলনাঙ্ক 145ºC। COOH এবং NH_2 গ্রুপ উপস্থিত থাকার জন্য অ্যাসিড এবং অ্যামিনের ধর্ম প্রকাশ পায়।

2. রাসায়নিক ধর্ম ও বিক্রিয়া (Chemical properties and reactions) ঃ

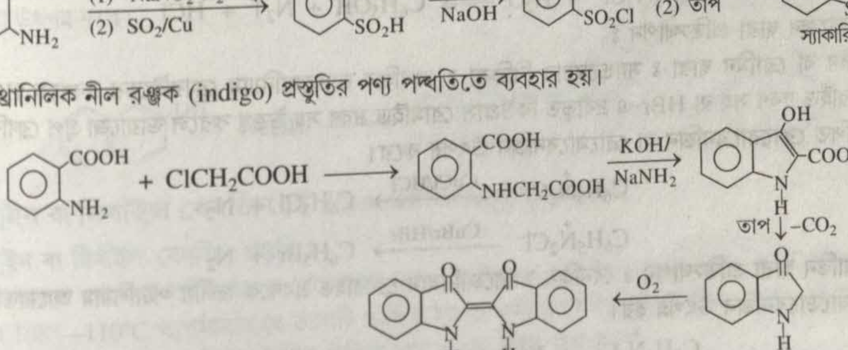
(1) অ্যানথ্রানিলিক অ্যাসিডকে পাতিত করলে ডিকার্বক্সিলেশনের ফলে CO_2 নির্গত হয় এবং অ্যানিলিন উৎপন্ন হয়।



(2) অ্যানথ্রানিলিক অ্যাসিড থেকে বিভিন্ন বিক্রিয়ার মাধ্যমে স্যাকারিন (Saccharin) তৈরি করা যায়।



(3) অ্যানথ্রানিলিক নীল রঞ্জক (indigo) প্রস্তুতির পণ্য পদ্ধতিতে ব্যবহার হয়।



● অ্যানথ্রানিলিক অ্যাসিডের ব্যবহার (Uses of Anthranilic Acid) ঃ

(i) মিথাইল অ্যানথ্রানিলেট সুগন্ধি প্রস্তুতিতে ব্যবহার হয়। **(ii)** স্যাকারিন এবং ইনডিগো (নীল রঙ) উৎপাদনে অ্যানথ্রানিলিক অ্যাসিড ব্যবহৃত হয়।

6.15. বেনজিন ডায়াজোনিয়াম ক্লোরাইড [Benzene Diazonium Chloride]

● **প্রস্তুতি** (Preparation) ঃ অ্যানিলিনকে লঘু HCl অ্যাসিডে দ্রবীভূত করে বরফ-জলে শীতল করা হয়। 0°—5°C তাপমাত্রায় এই দ্রবণে সোডিয়াম নাইট্রাইট ($NaNO_2$) দ্রবণ অল্প অল্প করে যোগ করা হয় এবং ভাল করে নাড়া হয়। (যখন মিশ্রিত দ্রবণের এক ফোঁটা স্টার্চ-আয়োডাইড কাগজকে নীল রঙ-এ পরিণত করে তখন সোডিয়াম নাইট্রাইট দ্রবণ যোগ করা বন্ধ করা হয়)। এর ফলে হালকা সবুজ রঙ-এর বেনজিন ডায়াজোনিয়াম ক্লোরাইড উৎপন্ন হয়।

$$C_6H_5NH_2 + 2HCl + NaNO_2 \longrightarrow C_6H_5{-}N{=}N{-}Cl + NaCl + 2H_2O$$

বিক্রিয়াটি তাপ-উৎপাদক এবং সাধারণ তাপমাত্রায় ডায়াজোনিয়াম লবণ সহজেই জলের সঙ্গে যুক্ত হয়ে হাইড্রক্সিল যৌগে পরিণত হয়, তাই তাপমাত্রা 0°—5°C-এর মধ্যে রাখা হয়।

HCl-এর পরিমাণ সর্বদা বেশি রাখা উচিত, তা না হলে ডায়াজোনিয়াম লবণ আংশিক অপরিবর্তিত অ্যানিলিনের সঙ্গে বিক্রিয়া করে **ডায়াজোঅ্যামিনো বেনজিনে** পরিণত হয়।

$$C_6H_5N{=}N{-}Cl + H_2NC_6H_5 \longrightarrow C_6H_5{-}N{=}N{-}NH{-}C_6H_5 + HCl$$

ডায়াজোটাইজেশন (Diazotisation) ঃ অ্যারোমেটিক প্রাইমারি অ্যামিন নাইট্রাস অ্যাসিডের ($NaNO_2$ + লঘু অ্যাসিড) সঙ্গে শীতল অবস্থায় বিক্রিয়া করে ডায়াজোনিয়াম লবণ উৎপন্ন করে। এই বিক্রিয়াকে ডায়াজো বিক্রিয়া এবং ডায়াজোনিয়াম লবণ উৎপন্ন করার পদ্ধতিতে ডায়াজোটাইজেশন বলে।

ডায়াজোনিয়াম ক্লোরাইডের ($C_6H_5\overset{+}{N}_2Cl^-$) গঠন সংকেত ঃ $[C_6H_5{-}\overset{+}{N}{\equiv}N: \leftrightarrow C_6H_5{-}\ddot{N}=\overset{+}{\ddot{N}}:]Cl^-$

● **ডায়াজোনিয়াম ক্লোরাইডের বিক্রিয়া ও জৈব সংশ্লেষণে ব্যবহার** (Reactions and synthetic application of diazonium chloride) ঃ

(A) প্রতিস্থাপন বিক্রিয়া ঃ অন্য মূলক দ্বারা ডায়াজো গ্রুপের প্রতিস্থাপন।

(1) হাইড্রোজেন পরমাণু দ্বারা প্রতিস্থাপন ঃ হাইড্রোকার্বন গঠন ঃ

বেনজিনডায়াজোনিয়াম ক্লোরাইডকে শুষ্ক অ্যালকোহল সহ বা হাইপোফসফরাস অ্যাসিড সহ উত্তপ্ত করলে বেনজিন উৎপন্ন হয়।

$$C_6H_5\overset{+}{N}_2Cl^- + C_2H_5OH \longrightarrow C_6H_6 + CH_3CHO + N_2\uparrow + HCl$$

$$C_6H_5\overset{+}{N}_2Cl^- + H_3PO_2 + H_2O \longrightarrow C_6H_6 + H_3PO_3 + N_2\uparrow + HCl$$

(2) হাইড্রক্সিল গ্রুপ দ্বারা প্রতিস্থাপন ঃ ফেনল গঠন ঃ বেনজিন ডায়াজোনিয়াম ক্লোরাইডকে জলের সঙ্গে ফোটালে ডায়াজো গ্রুপ হাইড্রক্সিল গ্রুপ দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে ফেনল উৎপন্ন করে।

$$C_6H_5\overset{+}{N}_2Cl^- + H_2O \longrightarrow C_6H_5OH + N_2\uparrow + HCl$$

(3) হ্যালোজেন দ্বারা প্রতিস্থাপন ঃ

(i) ক্লোরিন বা ব্রোমিন দ্বারা ঃ স্যান্ডমেয়ার বিক্রিয়া ঃ বেনজিন ডায়াজোনিয়াম ক্লোরাইডের দ্রবণকে HCl-এ দ্রবীভূত কিউপ্রাস ক্লোরাইড দ্রবণ সহ বা HBr-এ দ্রবীভূত কিউপ্রাস ব্রোমাইড দ্রবণ সহ উত্তপ্ত করলে ডায়াজো গ্রুপ ক্লোরিন বা ব্রোমিন দ্বারা প্রতিস্থাপিত **ক্লোরোবেনজিন** বা **ব্রোমোবেনজিন** উৎপন্ন করে।

$$C_6H_5\overset{+}{N}_2Cl^- \xrightarrow{CuCl/HCl} C_6H_5Cl + N_2$$

$$C_6H_5\overset{+}{N}_2Cl^- \xrightarrow{CuBr/HBr} C_6H_5Br + N_2$$

(ii) আয়োডিন দ্বারা প্রতিস্থাপন ঃ বেনজিন ডায়াজোনিয়াম ক্লোরাইড দ্রবণকে জলীয় পটাশিয়াম আয়োডাইড দ্রবণ সহ ফোটালে **আয়োডোবেনজিন** উৎপন্ন হয়।

$$C_6H_5\overset{+}{N}_2Cl^- + KI \longrightarrow C_6H_5I + KCl + N_2$$

(iii) ফ্লুওরিন দ্বারা প্রতিস্থাপন ঃ শীম্যান বিক্রিয়া (Schiemann reaction) ঃ বেনজিন ডায়াজোনিয়াম ক্লোরাইডের সঙ্গে ফ্লুওরোবোরিক অ্যাসিড যোগ করলে বেনজিন ডায়াজোনিয়াম ফ্লুওরোবোরেট উৎপন্ন হয়। একে উত্তপ্ত করলে ফ্লুওরোবেনজিন উৎপন্ন হয়।

$$C_6H_5\overset{+}{N}_2Cl^- + HBF_4 \longrightarrow C_6H_5\overset{+}{N}_2BF_4^- \xrightarrow{\text{তাপ}} C_6H_5F + BF_3 + N_2$$

(4) সায়ানো গ্রুপ দ্বারা প্রতিস্থাপন ঃ বেনজিন ডায়াজোনিয়াম ক্লোরাইডের দ্রবণের সঙ্গে জলীয় পটাশিয়াম সায়ানাইড দ্রবণে দ্রবীভূত কিউপ্রাস সায়ানাইডের অথবা কপারের উপস্থিতিতে পটাশিয়াম সায়ানাইডের দ্রবণের বিক্রিয়ায় **ফিনাইল সায়ানাইড** উৎপন্ন হয়।

$$C_6H_5\overset{+}{N}_2Cl^- \xrightarrow{CuCN/KCN} C_6H_5CN + N_2 + CuCl$$

(5) নাইট্রো গ্রুপ দ্বারা প্রতিস্থাপন ঃ বেনজিন ডায়াজোনিয়াম ক্লোরাইডকে ফ্লুওরোবোরিক অ্যাসিডে যোগ করে বেনজিন ডায়াজোনিয়াম ফ্লুওরোবোরেট তৈরি করা হয়। এর সঙ্গে কপার-রজ যুক্ত জলীয় সোডিয়াম নাইট্রাইটের বিক্রিয়ায় ডায়াজো গ্রুপ নাইট্রো গ্রুপ দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে **নাইট্রোবেনজিন** উৎপন্ন করে।

$$C_6H_5\overset{+}{N}_2Cl^- \xrightarrow{HBF_4} C_6H_5\overset{+}{N}_2BF_4^- \xrightarrow{NaNO_2/Cu} C_6H_5NO_2 + NaBF_4 + N_2$$

অথবা

$$C_6H_5NH_2 \xrightarrow[0^\circ\text{–}5^\circ C]{NaNO_2+HBF_4} C_6H_5\overset{+}{N}_2BF_4^-$$

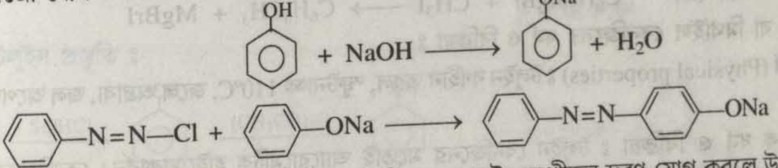
[B] বিজারণ ঃ (i) গাঢ় HCl এবং $SnCl_2$ বা Na_2SO_3 দ্রবণ দ্বারা বেনজিন ডায়াজোনিয়াম ক্লোরাইড বিজারিত হয়ে **ফিনাইল হাইড্রাজিন** উৎপন্ন হয়।

$$C_6H_5\overset{+}{N}_2Cl^- \xrightarrow{SnCl_2/HCl} C_6H_5NHNH_2$$

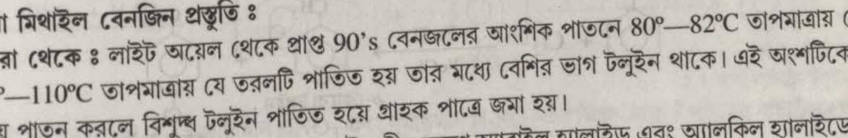
(ii) শক্তিশালী বিজারক যেমন Zn ও গাঢ় HCl দ্বারা বিজারিত করলে **অ্যানিলিন** উৎপন্ন হয়।

$$C_6H_5\overset{+}{N}_2Cl^- \xrightarrow{Zn/HCl} C_6H_5NH_2$$

[C] কাপলিং বিক্রিয়া ঃ (a) ফেনলের শীতল ক্ষারীয় দ্রবণে বেনজিন ডায়াজোনিয়াম ক্লোরাইডের শীতল দ্রবণ যোগ করলে হলুদ রঙ-এর **অ্যাজো যৌগ** উৎপন্ন হয়।



(b) ক্ষারীয় β-ন্যাপথলের শীতল দ্রবণে বেনজিন ডায়াজোনিয়াম ক্লোরাইডের শীতল দ্রবণ যোগ করলে উজ্জ্বল লাল বর্ণের অ্যাজো যৌগ উৎপন্ন করে।



6.16. টলুইন বা মিথাইল বেনজিন [Toluene or Methyl benzene]

[A] টলুইন বা মিথাইল বেনজিন প্রস্তুতি ঃ

(1) আলকাতরা থেকে ঃ লাইট অয়েল থেকে প্রাপ্ত 90's বেনজলের আংশিক পাতনে 80º—82ºC তাপমাত্রায় বেনজিন পাতিত হয়। 108º—110ºC তাপমাত্রায় যে তরলটি পাতিত হয় তার মধ্যে বেশির ভাগ টলুইন থাকে। এই অংশটিকে আবার 110ºC তাপমাত্রায় পাতন করলে বিশুদ্ধ টলুইন পাতিত হয়ে গ্রাহক পাত্রে জমা হয়।

(2) উর্জ-ফিটিগ বিক্রিয়া (Wurtz-Fittig reaction) ঃ ইথারীয় দ্রবণে অ্যারাইল হ্যালাইড এবং অ্যালকিল হ্যালাইডের সঙ্গে ধাতব সোডিয়ামের বিক্রিয়ায় বেনজিনের সমগণ (অ্যালকিল বেনজিন) প্রস্তুত হয়। এই বিক্রিয়াটি উর্জ-ফিটিগ বিক্রিয়া নামে পরিচিত।

$$Ar\text{—}X + 2Na + R\text{—}X \xrightarrow{\text{ইথার}} \underset{\text{অ্যালকিল বেনজিন}}{Ar\text{—}R} + 2NaX$$

যেমন ঃ ইথার দ্রবণে ব্রোমোবেনজিন এবং ইথাইল ব্রোমাইডের সঙ্গে ধাতব সোডিয়ামের বিক্রিয়ায় ইথাইল বেনজিন উৎপন্ন হয়। $C_6H_5Br + 2Na + C_2H_5Br \longrightarrow C_6H_5—C_2H_5 + 2NaBr$

উপজাত দ্রব্য ঃ এই বিক্রিয়ায় 2 অণু R—X-এর বিক্রিয়ায় অ্যালকেন এবং 2 অণু Ar—X-এর বিক্রিয়ায় বাই ফিনাইল গঠিত হয়। $R—X + 2Na + R—X \rightarrow R—R + 2NaX$; $ArX + 2Na + ArX \rightarrow Ar—Ar + 2NaX$

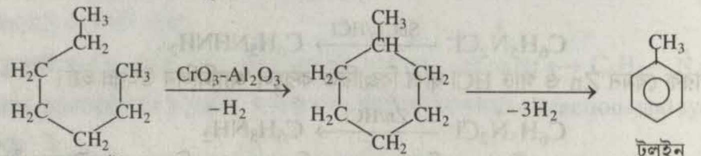
সুবিধা ঃ এই বিক্রিয়ায় নর্ম্যাল অ্যালকিল গ্রুপ বেনজিন বলয়ে প্রবেশ করানো যায়। ফ্রিডেল-ক্র্যাফটস বিক্রিয়ার মতো অ্যালকিল গ্রুপের এখানে কোনো পুনর্বিন্যাস ঘটে না। সেইজন্য বেনজিনের যে সমগণ তৈরি হয় তার গঠন জানা যায়।

(3) ফ্রিডেল-ক্র্যাফ্‌টস বিক্রিয়া ঃ অনার্দ্র অ্যালুনিমিয়াম ক্লোরাইডের (অনুঘটক) উপস্থিতিতে অতিরিক্ত বেনজিনের সঙ্গে মিথাইল ক্লোরাইড যোগ করে উত্তপ্ত করলে টলুইন পাওয়া যায়।

$$C_6H_6 + CH_3Cl \xrightarrow{\text{অনার্দ্র } AlCl_3} C_6H_5CH_3 + HCl$$

বিক্রিয়ার শেষে মিশ্রণটি শীতল জলে ঢালা হয়। অপরিবর্তিত বেনজিন ও টলুইন উপরের স্তরে পৃথক হয়। এই স্তর পৃথক করে ধৌত করে আংশিক পাতনের সাহায্যে টলুইন সংগ্রহ হয়।

(4) পেট্রোলিয়াম থেকে ঃ পেট্রোলিয়ামের অংশ গ্যাসোলিন এবং ন্যাপথা থেকে প্রাপ্ত নর্ম্যাল হেপটেনকে ক্রোমিয়াম অক্সাইড অ্যালুমিনা অনুঘটকের উপর চালনা করলে টলুইন তৈরি হয়।



n-হেপ্টেন

(5) গ্রিগনার্ড বিকারকের সাহায্যে ঃ ফিনাইল ম্যাগনেশিয়াম ব্রোমাইডের সঙ্গে ইথার দ্রবণে মিথাইল আয়োডাইডের বিক্রিয়ায় টলুইন উৎপন্ন হয়। $C_6H_5MgBr + CH_3I \longrightarrow C_6H_5CH_3 + MgBrI$

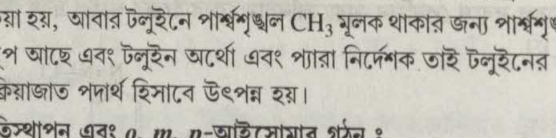
[B] টলুইন বা মিথাইল বেনজিনের ধর্ম ও বিক্রিয়া ঃ

1. ভৌত ধর্ম (Physical properties) ঃ টলুইন বর্ণহীন তরল, স্ফুটনাঙ্ক 110°C, জলে অদ্রাব্য, জল অপেক্ষা হালকা, ইথারে দ্রাব্য।

2. রাসায়নিক ধর্ম ও বিক্রিয়া ঃ টলুইন বেনজিনের মতোই অ্যারোমেটিক হাইড্রোকার্বন। বেনজিনের মতো টলুইনের নিউক্লিয়াসে প্রতিস্থাপন বিক্রিয়া হয়, আবার টলুইনে পার্শ্বশৃঙ্খল CH_3 মূলক থাকার জন্য পার্শ্বশৃঙ্খলে প্রতিস্থাপন বিক্রিয়া বা জারণ হতে পারে। টলুইনে CH_3 গ্রুপ আছে এবং টলুইন অর্থো এবং প্যারা নির্দেশক তাই টলুইনের প্রতিস্থাপন বিক্রিয়ায় অর্থো এবং প্যারা আইসোমার প্রধান বিক্রিয়াজাত পদার্থ হিসাবে উৎপন্ন হয়।

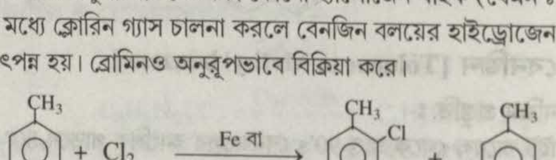
[a] বেনজিন বলয়ে প্রতিস্থাপন এবং *o, m, p*-আইসোমার গঠন ঃ

(1) ক্লোরিনেশন ঃ সূর্যালোকের অনুপস্থিতিতে এবং কোনো হ্যালোজেন বাহক (যেমন ঃ $AlCl_3$, $FeCl_3$, লোহা চূর্ণ)-এর উপস্থিতিতে ঠান্ডা টলুইনের মধ্যে ক্লোরিন গ্যাস চালনা করলে বেনজিন বলয়ের হাইড্রোজেন পরমাণু প্রতিস্থাপিত হয়ে অর্থো এবং প্যারা ক্লোরো টলুইন উৎপন্ন হয়। ব্রোমিনও অনুরূপভাবে বিক্রিয়া করে।



o-ক্লোরো টলুইন

p-ক্লোরো টলুইন

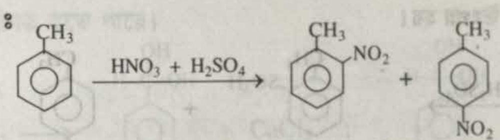


o-ব্রোমোটলুইন

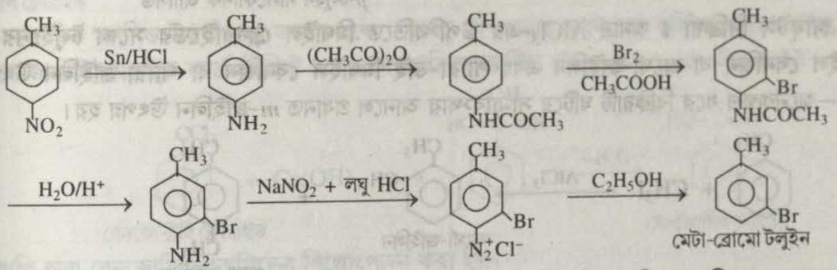
p-ব্রোমোটলুইন

CH_3 গ্রুপ অর্থো এবং প্যারা নির্দেশক বলে মেটা আইসোমার প্রত্যক্ষ ইলেকট্রফিলিক প্রতিস্থাপন বিক্রিয়া দ্বারা তৈরি করা যায় না।

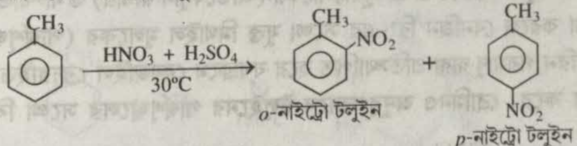
মেটা-ব্রোমোটলুইন প্রস্তুতি ঃ



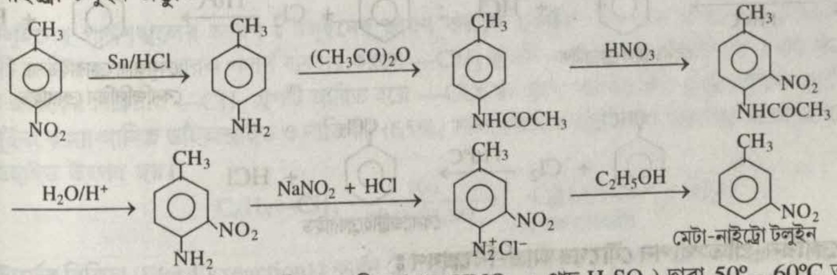
এদের আংশিক পাতনের সাহায্যে পৃথক করে p-নাইট্রো টলুইন থেকে মেটা আইসোমার তৈরি করা হয়।



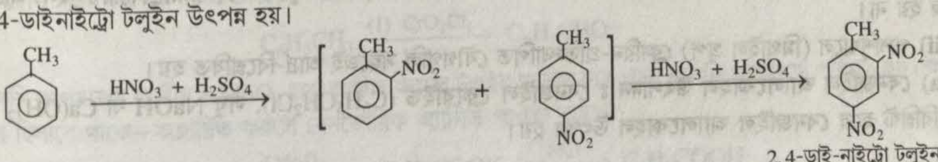
(2) নাইট্রেশন ঃ সাধারণ তাপমাত্রায় গাঢ় HNO_3 এবং গাঢ় H_2SO_4-এর মিশ্রণ (মিশ্র অ্যাসিড 1 ঃ 1 অনুপাতে)-এর সঙ্গে টলুইনের বিক্রিয়ায় অর্থো এবং প্যারা নাইট্রো টলুইন উৎপন্ন হয়। এদের আংশিক পাতনের সাহায্যে পৃথক করা হয়।



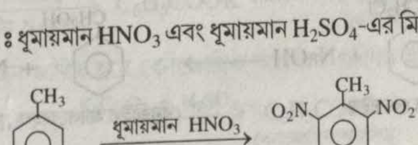
মেটা-নাইট্রো টলুইন প্রস্তুতি ঃ



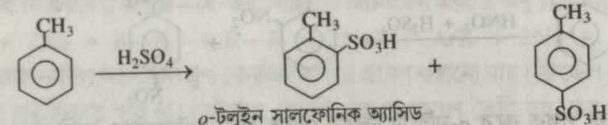
2, 4-ডাইনাইট্রো টলুইন ঃ টলুইনকে মিশ্র-অ্যাসিড (গাঢ় HNO_3 + গাঢ় H_2SO_4) দ্বারা 50º—60ºC তাপমাত্রায় বিক্রিয়া করালে 2, 4-ডাইনাইট্রো টলুইন উৎপন্ন হয়।



2, 4, 6-ট্রাইনাইট্রো টলুইন (T.N.T.) ঃ ধূমায়মান HNO_3 এবং ধূমায়মান H_2SO_4-এর মিশ্রণ দ্বারা টলুইনের নাইট্রেশন ঘটালে 2, 4, 6-ট্রাইনাইট্রো টলুইন উৎপন্ন হয়।


T.N.T.

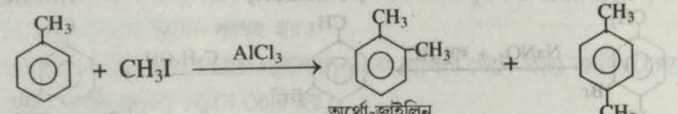
(3) সালফোনেশন ঃ টলুইনের সঙ্গে উত্তপ্ত এবং গাঢ় H_2SO_4 অথবা সাধারণ তাপমাত্রায় H_2SO_4-এর বিক্রিয়ায় অর্থো এবং প্যারা টলুইন সালফোনিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।



o-টলুইন সালফোনিক অ্যাসিড

p-টলুইন সালফোনিক অ্যাসিড

(4) ফ্রিডেল-ক্র্যাফ্টস বিক্রিয়া ঃ অনার্দ্র $AlCl_3$-এর উপস্থিতিতে **মিথাইল ক্লোরাইডের সঙ্গে টলুইনের বিক্রিয়ায় অর্থো-ডাই মিথাইল বেনজিন** বা **অর্থো-জাইলিন** এবং **প্যারা-ডাই মিথাইল বেনজিন** বা **প্যারা-জাইলিন** উৎপন্ন করে। বিক্রিয়াটি উভমুখী—অনেকক্ষণ ধরে বিক্রিয়াটি ঘটিয়ে সাম্যাবস্থায় আনলে প্রধানত *m*-জাইলিন উৎপন্ন হয়।

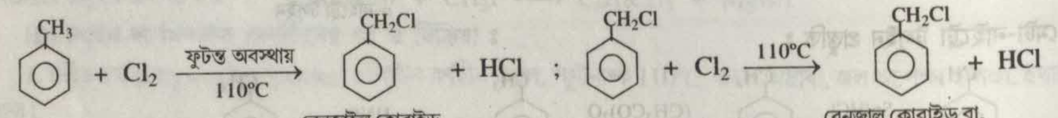


অর্থো-জাইলিন

প্যারা-জাইলিন

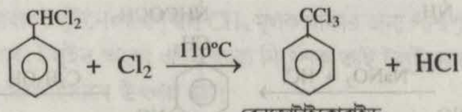
[b] পার্শ্বশৃঙ্খলের প্রতিস্থাপন বিক্রিয়া ঃ

(i) কোনো হ্যালোজেনবাহীর অনুপস্থিতিতে প্রখর সূর্যালোকের (অতিবেগুনি রশ্মির) উপস্থিতিতে কিংবা **ফুটন্ত টলুইনের** মধ্য দিয়ে ক্লোরিন গ্যাস চালনা করলে বেনজিন রিং-এর সঙ্গে **যুক্ত মিথাইল মূলকের (পার্শ্বশৃঙ্খল) হাইড্রোজেন পরমাণু তিনটিই** একটির পর একটি ক্লোরিন পরমাণু দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে যথাক্রমে **বেনজাইল ক্লোরাইড, বেনজাল ক্লোরাইড এবং বেনজো ট্রাই-ক্লোরাইড উৎপন্ন করে। ব্রোমিনও অনুরূপভাবে টলুইনের পার্শ্বশৃঙ্খলের সঙ্গে বিক্রিয়া করে।**



বেনজাইল ক্লোরাইড

বেনজাল ক্লোরাইড বা,
বেনজিলিডিন ক্লোরাইড



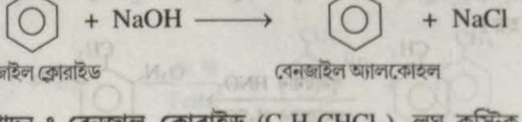
বেনজোট্রাইক্লোরাইড

●টলুইনের ক্লোরিন-প্রতিস্থাপন যৌগের আর্দ্র-বিশ্লেষণ ঃ

(i) টলুইনের বেনজিন বলয়ে Cl_2 দ্বারা প্রতিস্থাপিত যৌগের (অর্থো ক্লোরো টলুইন এবং প্যারাক্লোরো টলুইন) আর্দ্র-বিশ্লেষণ সহজে হয় না।

(ii) পার্শ্বশৃঙ্খলে (মিথাইল গ্রুপ) ক্লোরিন-প্রতিস্থাপিত যৌগগুলি সহজেই আর্দ্র-বিশ্লেষিত হয়।

(a) বেনজাইল অ্যালকোহল উৎপাদন ঃ বেনজাইল ক্লোরাইড ($C_6H_5CH_2Cl$), লঘু NaOH বা $Ca(OH)_2$ দ্রবণ দ্বারা আর্দ্র-বিশ্লিষ্ট হয়ে **বেনজাইল অ্যালকোহল** উৎপন্ন হয়।

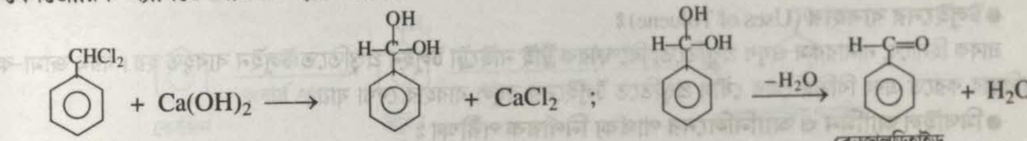


বেনজাইল ক্লোরাইড

বেনজাইল অ্যালকোহল

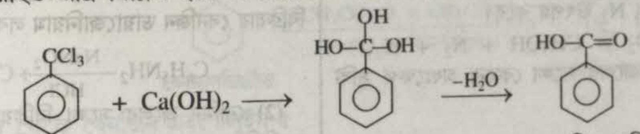
(b) বেনজালডিহাইড উৎপাদন ঃ বেনজাল ক্লোরাইড ($C_6H_5CHCl_2$), লঘু কস্টিক সোডা বা $Ca(OH)_2$ দ্রবণ দ্বারা আর্দ্র-বিশ্লিষ্ট হয়ে **বেনজালডিহাইড** উৎপন্ন হয়। **এই আর্দ্র-বিশ্লেষণে NaOH-এর পরিবর্তে $Ca(OH)_2$ ব্যবহার করা উচিত।**

কারণ **NaOH** ব্যবহার করলে উৎপন্ন বেনজালডিহাইড, **NaOH**-এর উপস্থিতিতে ক্যানিজারো বিক্রিয়া করে অ্যালকোহল এবং বেনজোয়িক অ্যাসিডে পরিণত হতে পারে।



বেনজাল ক্লোরাইড — বেনজালডিহাইড

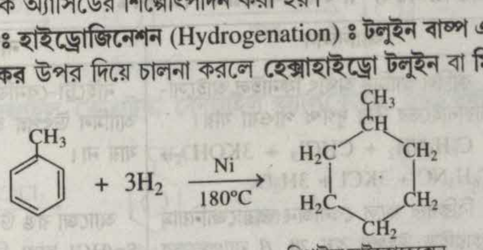
(c) বেনজোয়িক অ্যাসিড উৎপাদন ঃ জলের সঙ্গে 150°C তাপমাত্রায় অথবা লঘু **কস্টিক সোডা দ্রবণের সঙ্গে** সাধারণ উষ্ণতায় **বেনজো-ট্রাইক্লোরাইড আর্দ্র-বিশ্লিষ্ট হয়ে বেনজোয়িক অ্যাসিড** (Benzoic Acid) উৎপন্ন হয়।



বেনজো-ট্রাই ক্লোরাইড — বেনজোয়িক অ্যাসিড

এই পদ্ধতি দ্বারা বেনজোয়িক অ্যাসিডের শিল্পোৎপাদন করা হয়।

[C] টলুইনের যুত বিক্রিয়া ঃ হাইড্রোজিনেশন (Hydrogenation) **ঃ টলুইন বাষ্প** এবং **হাইড্রোজেনের মিশ্রণকে** 180°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত নিকেল **অনুঘটকের** উপর দিয়ে চালনা করলে **হেক্সাহাইড্রো টলুইন** বা **মিথাইল সাইক্লোহেক্সেন** উৎপন্ন হয়।



মিথাইল সাইক্লোহেক্সেন

(D) টলুইনের পার্শ্বশৃঙ্খলের জারণ ঃ টলুইনের জারণ করলে বেনজিন রিং-এর সঙ্গে যুক্ত মিথাইল মূলকটি অর্থাৎ পার্শ্বশৃঙ্খলটি জারিত হয়। মৃদু জারক পদার্থ ব্যবহার করলে —CH_3 গ্রুপটি —CHO গ্রুপে জারিত হয়ে **বেনজালডিহাইড** উৎপন্ন করে। তীব্র জারকের বিক্রিয়ায় —CH_3 গ্রুপটি জারিত হয়ে —COOH গ্রুপে পরিণত হয়ে **বেনজোয়িক অ্যাসিড** উৎপন্ন করে।

(i) টলুইনকে ম্যাঙ্গানিজ ডাইঅক্সাইড ও নাতিগাঢ় (65%) **সালফিউরিক অ্যাসিডের** মিশ্রণের সঙ্গে 40°C-এ উত্তপ্ত করলে **বেনজালডিহাইড উৎপন্ন হয়।**

$$C_6H_5—CH_3 \xrightarrow[MnO_2/H_2SO_4]{[O]} \underset{\text{বেনজালডিহাইড}}{C_6H_5CHO} + H_2O$$

(ii) এটার্ডের বিক্রিয়া (Etard's reaction) ঃ কার্বন টেট্রাক্লোরাইডে দ্রবীভূত টলুইনকে ক্রোমিল ক্লোরাইড দ্বারা জারিত করলে এই জটিল যৌগ অধঃক্ষিপ্ত হয়। এই যৌগের আর্দ্র-বিশ্লেষণে বেনজালডিহাইড পাওয়া যায়।

$$C_6H_5CH_3 \xrightarrow[(2)\ H_2O]{(1)\ CrO_2Cl_2} C_6H_5CHO$$

(iii) বেশি তাপমাত্রায় ক্ষারীয় $KMnO_4$ দ্বারা জারিত করলে টলুইন জারিত হয়ে বেনজোয়িক অ্যাসিডে পরিণত হয়। ক্ষারীয় দ্রবণে লবণ হিসাবে থাকে—অম্লায়িত করলে বেনজোয়িক অ্যাসিড পাওয়া যায়।

$$C_6H_5CH_3 \xrightarrow[\text{জলীয় } Na_2CO_3]{KMnO_4} C_6H_5COOK \xrightarrow{HCl} \underset{\text{বেনজোয়িক অ্যাসিড}}{C_6H_5COOH}$$

(iv) অম্লায়িত $K_2Cr_2O_7$ দ্বারাও টলুইন জারিত হয়ে বেনজোয়িক অ্যাসিডে পরিণত হয়।

$$C_6H_5CH_3 \xrightarrow{K_2Cr_2O_7\ +\ H_2SO_4} \underset{\text{বেনজোয়িক অ্যাসিড}}{C_6H_5COOH}$$

● **বেনজিন এবং টলুইনের পার্থক্য নির্ণায়ক বিক্রিয়া ঃ টলুইন ক্ষারীয়** $KMnO_4$ **দ্বারা জারিত করলে** বেনজোয়িক অ্যাসিডের লবণ উৎপন্ন হয় এবং **দ্রবণের বেগুনি বর্ণ বর্ণহীন হয়।** লবণটিকে সংগ্রহ করে HCl-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করালে **বেনজোয়িক**

অ্যাসিড পাওয়া যায়, যাকে ঠান্ডা করলে সাদা অধঃক্ষেপ পড়ে। বেনজিন $KMnO_4$ দ্বারা জারিত হয় না, ফলে বেনজোয়িক অ্যাসিডের সাদা অধঃক্ষেপ উৎপন্ন করে না।

● **টলুইনের ব্যবহার** (Uses of Toluene) ঃ

দ্রাবক হিসাবে, নানারকম ওষুধ প্রস্তুতিতে, বিস্ফোরক **ট্রাই নাইট্রো টলুইন** প্রস্তুতিতে টলুইন ব্যবহৃত হয়। গরম জামা-কাপড় পরিষ্কার করতে এবং বিভিন্ন জৈব যৌগ প্রস্তুতিতে টলুইনের বহুল ব্যবহার দেখা যায়।

● **মিথাইল অ্যামিন ও অ্যানিলিনের পার্থক্য নির্ণায়ক পরীক্ষা ঃ**

মিথাইল অ্যামিন $[CH_3CH_2]$	অ্যানিলিন $[C_6H_5NH_2]$
(1) ডায়াজো বিক্রিয়া করে না, কিন্তু HNO_2-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় **মিথাইল অ্যালকোহল** এবং N_2 উৎপন্ন করে। $CH_3NH_2 + HNO_2 = CH_3OH + N_2 + H_2O$ **(2)** লালবর্ণের ব্রোমিন জলের সঙ্গে কোনো অধঃক্ষেপ সৃষ্টি করে না।	**(1) ডায়াজো বিক্রিয়া করে।** 0ºC উষ্ণতায় HNO_2-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় **বেনজিন ডায়াজোনিয়াম** লবণ উৎপন্ন করে। $C_6H_5NH_2 \xrightarrow[HCl]{NaNO_2} C_6H_5—N{=}NCl$ **(2)** ব্রোমিন জলের সঙ্গে বিক্রিয়া করে 2,4,6-ট্রাই ব্রোমো অ্যানিলিনের সাদা অধঃক্ষেপ উৎপন্ন করে।

● **অ্যানিলিন ও নাইট্রোবেনজিনের মধ্যে পার্থক্য নির্ণায়ক পরীক্ষা ঃ**

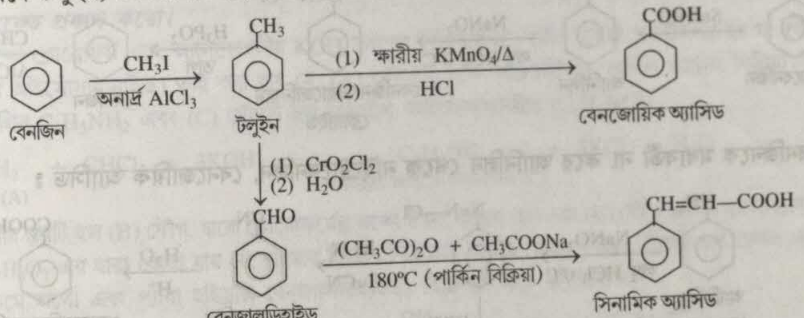
পরীক্ষা	অ্যানিলিন	নাইট্রোবেনজিন
(i) কার্বিল অ্যামিন বিক্রিয়া ঃ নমুনা + $CHCl_3$ + অ্যালকোহলীয় KOH	কার্বিল অ্যামিন অর্থাৎ ফিনাইল আইসো-সায়ানাইডের তীব্র দুর্গন্ধ পাওয়া যায়। $C_6H_5NH_2 + CHCl_3 + 3KOH \rightarrow C_6H_5NC + 3KCl + 3H_2O$	নাইট্রো-বেনজিনের সঙ্গে বিক্রিয়ায় কার্বিল অ্যামিন উৎপন্ন হয় না—তাই কোনো গন্ধ পাওয়া যায় না।
(ii) নমুনা + $NaNO_2$ + HCl উৎপন্ন দ্রবণকে β ন্যাপথলের ক্ষারীয় দ্রবণে যোগ করা হল।	বিক্রিয়ার ফলে বেনজিন ডায়াজোনিয়াম ক্লোরাইড উৎপন্ন হয় যা β ন্যাপথলের সঙ্গে বিক্রিয়ায় অ্যাজোরঞ্জক উৎপন্ন করে।	অ্যাজো রঙ উৎপন্ন হয় না। নাইট্রো-বেনজিনকে Sn/HCl দ্বারা বিজারিত করার পর এই পরীক্ষা করলে অ্যাজো রঙ উৎপন্ন হয়।
(iii) মুলিকেন-বার্কার পরীক্ষা ঃ নমুনা + 50% ইথাইল + Zn চূর্ণ + NH_4Cl উত্তপ্ত করে টলেন্স বিকারকের মধ্যে ঢালা হল।	ধাতব সিলভারের ধূসর বর্ণের অধঃক্ষেপ পড়ে না।	ধাতব সিলভারের ধূসর বর্ণের অধঃক্ষেপ পড়ে। $C_6H_5NO_2 \xrightarrow{[H]} C_6H_5NHOH$ $C_6H_5NHOH \xrightarrow{Ag_2O} 2Ag\downarrow + C_6H_5NO + H_2O$

● **ফেনল এবং অ্যানিলিনের পার্থক্য নির্ণায়ক পরীক্ষা ঃ**

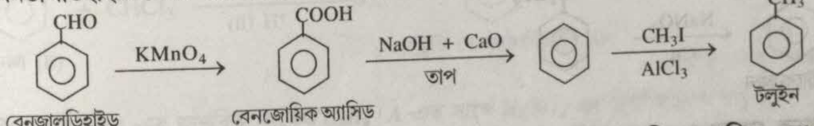
পরীক্ষা	ফেনল	অ্যানিলিন
(1) কার্বিল অ্যামিন পরীক্ষা ঃ নমুনা + $CHCl_3$ + অ্যালকোহলীয় KOH.	**ফিনাইল আইসোসায়ানাইডের** তীব্র দুর্গন্ধ পাওয়া যায় না।	**ফিনাইল আইসোসায়ানাইডের** তীব্র দুর্গন্ধ পাওয়া যায়। $C_6H_5NH_2 + CHCl_3 + 3KOH \rightarrow C_6H_5NC + 3HCl + 3H_2O$
(2) অ্যাজো রঞ্জক পরীক্ষা ঃ নমুনা + $NaNO_2$ + HCl উৎপন্ন দ্রবণের সঙ্গে β ন্যাপথল এবং NaOH দ্রবণ যোগ করা হল।	অ্যাজো রঙ উৎপন্ন হয় না।	উজ্জ্বল বর্ণের অ্যাজো রঙ উৎপন্ন হয়।
(3) লিবারম্যান পরীক্ষা ঃ নমুনা + $NaNO_2$ কেলাস + H_2SO_4	দ্রবণটি প্রথমে লাল এবং পরে নীল হয়ে যায়। জল যোগ করলে দ্রবণের বর্ণ ফিকে লাল হয়।	এই বিক্রিয়ায় সাড়া দেয় না।

●রূপান্তরিতকরণ ঃ

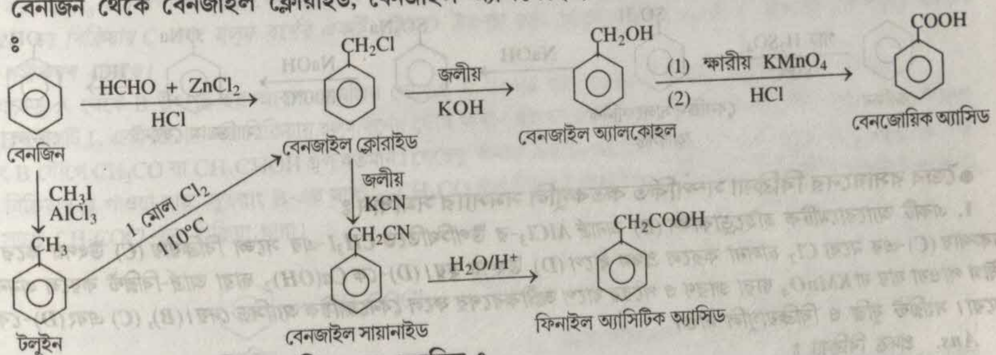
(1) বেনজিন থেকে টলুইন, বেনডালডিহাইড, বেনজোয়িক অ্যাসিড এবং সিনামিক অ্যাসিড ঃ



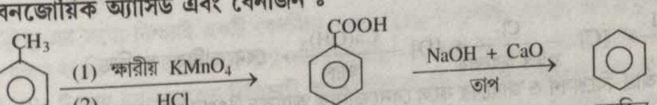
(2) বেনডালডিহাইড থেকে বেনজিন এবং টলুইন ঃ



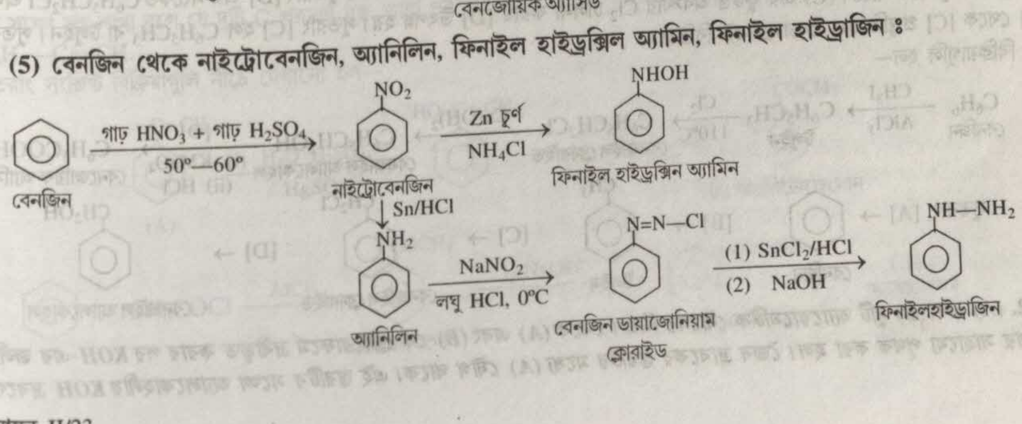
(3) বেনজিন থেকে বেনজাইল ক্লোরাইড, বেনজাইল অ্যালকোহল, বেনজোয়িক অ্যাসিড এবং ফিনাইল অ্যাসিটিক অ্যাসিড ঃ



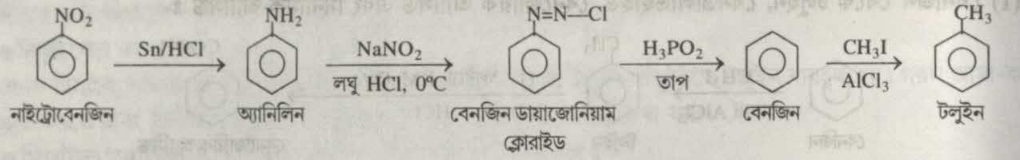
(4) টলুইন থেকে বেনজোয়িক অ্যাসিড এবং বেনজিন ঃ



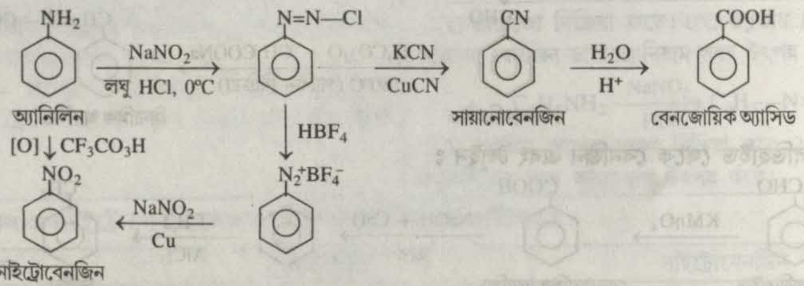
(5) বেনজিন থেকে নাইট্রোবেনজিন, অ্যানিলিন, ফিনাইল হাইড্রক্সিল অ্যামিন, ফিনাইল হাইড্রাজিন ঃ



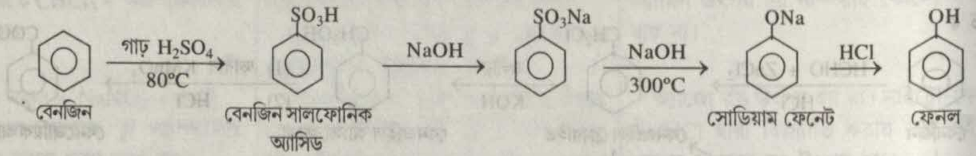
(6) নাইট্রোবেনজিন এবং অ্যানিলিন থেকে বেনজিন এবং টলুইন ঃ



(7) বেনজিনকে মধ্যবর্তী না করে অ্যানিলিন থেকে নাইট্রোবেনজিন, বেনজোয়িক অ্যাসিড ঃ



(8) বেনজিন থেকে ফেনল ঃ



● জৈব রসায়নের বিক্রিয়া সম্পর্কিত কতকগুলি সমস্যার সমাধান ঃ

***1.** একটি অ্যারোমেটিক হাইড্রোকার্বন (B) অনার্দ্র $AlCl_3$-র উপস্থিতিতে CH_3I-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় (C) উৎপন্ন করে। ফুটন্ত অবস্থায় (C)-এর মধ্যে Cl_2 চালনা করলে প্রথম ধাপে (D) উৎপন্ন হয়। (D)-কে $Ca(OH)_2$ দ্বারা আর্দ্র-বিশ্লিষ্ট করলে এমন একটি যৌগ পাওয়া যায় যা $KMnO_4$ দ্বারা জারণ ও পরের ধাপে অম্লীকরণের ফলে বেনজোয়িক অ্যাসিড দেয়। (B), (C) এবং (D)-কে শনাক্ত করো। সংশ্লিষ্ট যুক্তি ও বিক্রিয়াগুলি দাও।*

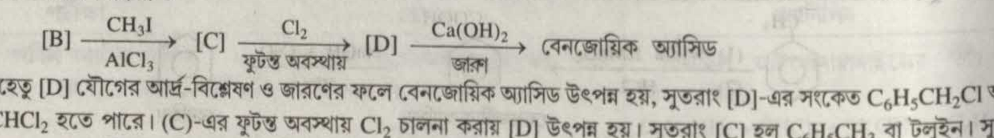
Ans. **প্রদত্ত বিক্রিয়া ঃ**

$$[B] \xrightarrow[AlCl_3]{CH_3I} [C] \xrightarrow[\text{ফুটন্ত অবস্থায়}]{Cl_2} [D] \xrightarrow[\text{জারণ}]{Ca(OH)_2} \text{বেনজোয়িক অ্যাসিড}$$

যেহেতু [D] যৌগের আর্দ্র-বিশ্লেষণ ও জারণের ফলে বেনজোয়িক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়, সুতরাং [D]-এর সংকেত $C_6H_5CH_2Cl$ অথবা $C_6H_5CHCl_2$ হতে পারে। (C)-এর ফুটন্ত অবস্থায় Cl_2 চালনা করায় [D] উৎপন্ন হয়। সুতরাং [C] হল $C_6H_5CH_3$ বা টলুইন। সুতরাং [B] থেকে [C] প্রস্তুতি হল ফ্রিডালক্রাফট বিক্রিয়া।

বিক্রিয়াগুলি হল—

$$\underset{\text{বেনজিন}}{C_6H_6} \xrightarrow[AlCl_3]{CH_3I} \underset{\text{টলুইন}}{C_6H_5CH_3} \xrightarrow[110^\circ C]{Cl_2} \underset{\text{বেনজাইল ক্লোরাইড}}{C_6H_5CH_2Cl} \xrightarrow{Ca(OH)_2} \underset{\text{বেনজাইল অ্যালকোহল}}{C_6H_5CH_2OH} \xrightarrow[\text{(i) } KMnO_4 \text{ (ii) } HCl]{[O]} \underset{\text{বেনজোয়িক অ্যাসিড}}{C_6H_5COOH}$$



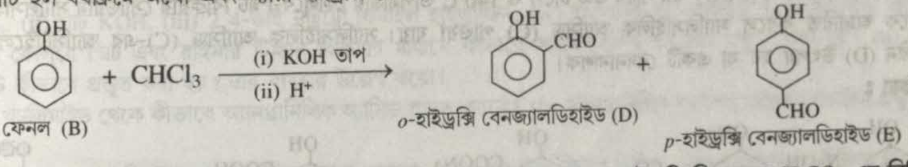
***2.** (A) এবং (B) দুটি অ্যারোমেটিক যৌগের মিশ্রণ থেকে (A) এবং (B)-কে ক্লোরোফর্মে দ্রবীভূত করার পর KOH-এর জলীয় দ্রবণের সাহায্যে পৃথক করা হল। জৈব দ্রাবকের স্তরটির মধ্যে (A) যৌগ থাকে। এই স্তরটির সঙ্গে অ্যালকোহলীয় KOH দ্রবণের*

বিক্রিয়ায় একটি দুর্গন্ধযুক্ত (C) যৌগ (C_7H_5N) উৎপন্ন হয়। ক্ষারীয় জলীয় দ্রবণের স্তরটিকে ক্লোরোফর্মের সঙ্গে উত্তপ্ত করে অ্যাসিডযুক্ত করার পর দুটি সমাবয়বী যৌগ (D) এবং (E) উৎপন্ন হয় যাদের সংকেত $C_7H_6O_2$। (A), (B), (C), (D) এবং (E)-কে শনাক্ত করো এবং এদের গঠনমূলক সংকেত প্রকাশ করো।

Ans. (A) যৌগের সঙ্গে ক্লোরোফর্ম এবং অ্যালকোহলীয় KOH দ্রবণের বিক্রিয়ায় (C) যৌগ (C_7H_5N) উৎপন্ন হয় যা দুর্গন্ধযুক্ত। সুতরাং উৎপন্ন যৌগটি হল আইসোসায়ানাইড। তাই বলা যায় যে, (A) যৌগের সঙ্গে বিক্রিয়াটি হল কার্বিল অ্যামিন বিক্রিয়া। সুতরাং (A) যৌগটি নিশ্চয় অ্যানিলিন $C_6H_5NH_2$ এবং (C) যৌগটি হল ফিনাইল আইসোসায়ানাইড (C_6H_5NC)।

$$\underset{\text{অ্যানিলিন (A)}}{C_6H_5NH_2} + CHCl_3 + 3KOH \longrightarrow \underset{\text{ফিনাইল আইসোসায়ানাইড (C)}}{C_6H_5NC} + 3KCl + H_2O$$

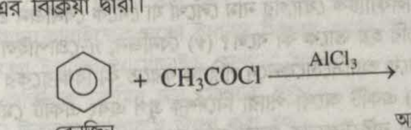
অপরদিকে ক্ষারীয় জলীয় স্তরটি হল (B) যৌগ, যাকে ক্লোরোফর্মের সঙ্গে উত্তপ্ত করলে (D) এবং (E) যৌগ উৎপন্ন হয় যারা সমাবয়বী এবং যাদের ফর্মুলা হল $C_7H_6O_2$-এর দ্বারা বোঝা যায় যে, রাইমার টিম্যান বিক্রিয়াটি ঘটেছে। অতএব (B) যৌগটি হল ফেনল এবং (D) ও (E) যৌগটি হল যথাক্রমে অর্থো এবং প্যারা হাইড্রক্সি বেনজ্যালডিহাইড। বিক্রিয়াটি নীচে দেখানো হল।



3. *একটি জৈব যৌগের A-এর আণবিক সংকেত C_8H_6। A-এর সাথে $HgSO_4$-এর উপস্থিতিতে লঘু H_2SO_4-এর বিক্রিয়ায় B যৌগ উৎপন্ন হয়। $AlCl_3$-এর উপস্থিতিতে বেনজিন এবং জৈব অ্যাসিড ক্লোরাইডের বিক্রিয়া দ্বারাও B যৌগ পাওয়া যায়। B-এর সাথে I_2 এবং KOH-এর বিক্রিয়ায় C এবং হলুদ বর্ণের একটি যৌগ D উৎপন্ন হয়। কারণ দেখিয়ে A, B, C এবং D-কে শনাক্ত করো। বিক্রিয়াগুলি সমীকরণ দেখাও।*

Ans. যেহেতু A থেকে B উৎপন্ন হয় আবার বেনজিন থেকেও B উৎপন্ন হয়, সুতরাং A একটি অ্যারোমেটিক যৌগ।

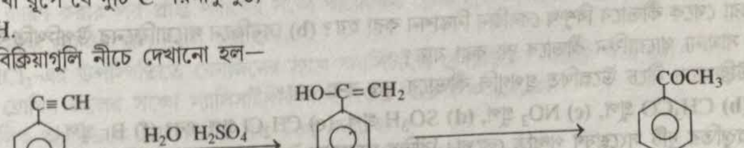
আবার, B যৌগটি I_2 এবং KOH-এর বিক্রিয়ায় হলুদ বর্ণের যৌগ অর্থাৎ আয়োডোফর্ম দেয়, সুতরাং B যৌগটি আয়োডোফর্ম বিক্রিয়া করে। সুতরাং B যৌগে CH_3CO বা CH_3CHOH গ্রুপ বর্তমান। যেহেতু অনার্দ্র $AlCl_3$-এর উপস্থিতিতে বেনজিনের সাথে একটি অ্যাসিড ক্লোরাইডের বিক্রিয়ায় B পাওয়া যায়, সুতরাং B-এর মধ্যে $—CH_3CO$ গ্রুপ নিশ্চয়ই উপস্থিত। এটা সম্ভব হয় $AlCl_3$-এর উপস্থিতিতে বেনজিনের সাথে CH_3COCl-এর বিক্রিয়া দ্বারা।

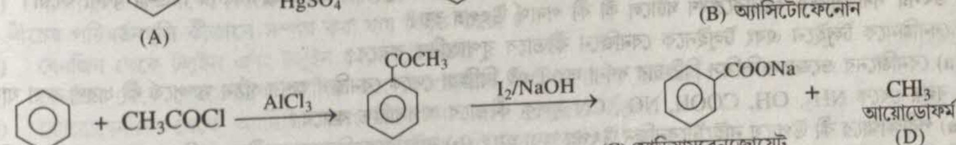


A-এর আণবিক সংকেত C_8H_6-এর মধ্যে নিশ্চয়ই একটি বেনজিন বলয় C_6H_6 উপস্থিত, সুতরাং অপর দুটি C পরমাণু বেনজিন বলয়ের সাথে যুক্ত যার মধ্যে দ্বি-বন্ধন বা ত্রি-বন্ধন উপস্থিত। বলা আছে C_8H_6-এর সাথে $HgSO_4$-এর উপস্থিতিতে লঘু H_2SO_4-এর বিক্রিয়ায় কিটোন $C_6H_3COCH_3$ (B) উৎপন্ন হয়—যেহেতু বিক্রিয়াটি অ্যালকাইনের একটি বিশেষ বিক্রিয়া, সুতরাং A যৌগের বেনজিন বলয়ের সঙ্গে যুক্ত শাখা রূপে যে দুটি C পরমাণু যুক্ত, তারা পরস্পরের সঙ্গে ত্রি-বন্ধন দ্বারা যুক্ত। সুতরাং A-এর সম্ভাব্য গঠন হল—

$C_6H_5—C\equiv CH$.

সুতরাং সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়াগুলি নীচে দেখানো হল—





4. একটি অক্সিজেন পরমাণুযুক্ত অ্যারোমেটিক যৌগ A-তে 76·6% C এবং 6·38% হাইড্রোজেন আছে। এটি জলীয় কস্টিক ক্ষারে দ্রবণীয় এবং $FeCl_3$ দ্রবণের সাথে যৌগটি বৈশিষ্ট্যসূচক বর্ণ নির্দেশ করে। NaOH এবং CO_2-এর সাথে উচ্চ চাপে ও 140°C তাপমাত্রায় A বিক্রিয়া করে B উৎপন্ন করে যাকে অম্লায়িত করলে C পাওয়া যায়। অ্যাসিটাইলেশনের ফলে C একটি বেদনানাশক হিসাবে ব্যবহৃত হয় এমন যৌগ D উৎপন্ন করে। A, B, C এবং D-কে শনাক্ত করে তোমার উত্তরের স্বপক্ষে যুক্তি দাও।

Ans. যৌগটিতে মৌলগুলির পরমাণু সংখ্যার অনুপাত ঃ

$$C : H : O = \frac{76·6}{12} : \frac{6·38}{1} : \frac{100-(76·6+6·38)}{16} = 6·38 : 6·38 : 1·06 = \frac{6·38}{1·06} : \frac{6·38}{1·06} : \frac{1·06}{1·06}$$

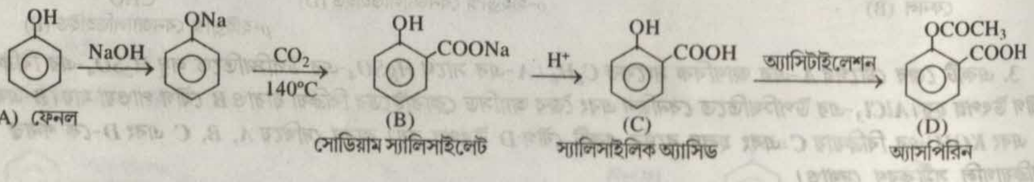
$= 6 : 6 : 1$ (লঘিষ্ঠ পূর্ণসংখ্যার অনুপাত)

∴ অ্যারোমেটিক যৌগটির স্থূল সংকেত C_6H_6O (A)

যেহেতু যৌগটি তীব্র ক্ষারে দ্রবণীয়, যৌগটি আম্লিক ধর্মী এবং $FeCl_3$ দ্রবণে যৌগ (A)টি বৈশিষ্ট্যসূচক বর্ণ নির্দেশ করে। সুতরাং (A) যৌগটি একটি ফেনলিক যৌগ এবং এটি C_6H_5OH (ফেনল)।

ফেনল (A) NaOH এবং CO_2-এর সাথে উচ্চ চাপে ও 140°C তাপমাত্রায় কোল্‌বে-স্মিট বিক্রিয়ায় সোডিয়াম স্যালিসাইলেট উৎপন্ন করে যাকে অম্লায়িত করলে স্যালিসাইলিক অ্যাসিড (C) পাওয়া যায়। স্যালিসাইলিক অ্যাসিড (C)-এর অ্যাসিটাইলেশনের ফলে অ্যাসপিরিন (D) উৎপন্ন হয় যা একটি বেদনানাশক।

বিক্রিয়া ঃ



অনুশীলনী

[A] অতিসংক্ষিপ্ত উত্তরভিত্তিক প্রশ্ন ঃ

(i) বেনজিন—একবন্ধন ও দ্বি-বন্ধন যুক্ত সুষম ষড়ভুজ—এই ধারণা দেন কোন বিজ্ঞানী? **(ii)** বেনজিনকে নির্জল বেনজিনে পরিণত করতে কোন ধাতু ব্যবহার করা হয়? **(iii)** একটি অ্যালিফ্যাটিক যৌগের নাম লেখো যা থেকে বেনজিন প্রস্তুত করা যায়। **(iv)** বেনজিনের ইলেকট্রফিলিক প্রতিস্থাপন বিক্রিয়ায় যে মধ্যবর্তী তৈরি হয় তাকে কী বলে? **(v)** বেনজিন, *n*-প্রোপাইল ব্রোমাইড এবং $AlBr_3$ বিক্রিয়ায় উৎপন্ন মুখ্য জৈব যৌগের নাম লেখো। **(vi)** বেনজিনকে অ্যাসিটোফেননে পরিণত করতে কী বিকারকের প্রয়োজন হয়? **(vii)** বেনজিনের ওজোনোলিসিস করলে কী যৌগ উৎপন্ন হয়? **(viii)** একটি অর্থো-প্যারা নির্দেশক গ্রুপ এবং একটি মেটা নির্দেশক গ্রুপের নাম লেখো। **(ix)** বেনজিনের নাইট্রেশনের গতি নাইট্রোবেনজিনের নাইট্রেশনের চেয়ে বেশি না কম? **(x)** নাইট্রোবেনজিনকে প্রশম দ্রবণে Zn এবং NH_4Cl দ্বারা বিজারিত করলে কী উৎপন্ন হয়? **(xi)** অ্যানিলিনকে একধাপে জারিত করে নাইট্রোবেনজিনে পরিণত করতে কী বিকারক ব্যবহার করা হয়? **(xii)** কিউমিন পদ্ধতিতে ফেনল উৎপাদনের সঙ্গে উপজাত হিসাবে কী পাওয়া যায়। **(xiii)** কোল্‌বে-স্মিট বিক্রিয়ায় সোডিয়াম ফেনোক্সাইডের পরিবর্তে পটাশিয়াম ফেনোক্সাইড ব্যবহার করলে যে যৌগ উৎপন্ন হয় তার নাম লেখো।

[B] সংক্ষিপ্ত উত্তরভিত্তিক প্রশ্ন ঃ

1. (a) আলকাতরা থেকে কীভাবে বিশুদ্ধ বেনজিন নিষ্কাশন করা হয়? **(b)** বেনজিনে থায়োফিনের উপস্থিতি কীভাবে প্রমাণ করবে? **(c)** বেনজিন থেকে সামান্য থায়োফিন কীভাবে দূর করা যায়?

2. বেনজিন নিউক্লিয়াসে নীচে উল্লেখিত গ্রুপগুলি কীভাবে যুক্ত করা যায়?

(a) CH_3 গ্রুপ, **(b)** CH_3CO গ্রুপ, **(c)** NO_2 গ্রুপ, **(d)** SO_3H গ্রুপ, **(e)** CH_2Cl গ্রুপ এবং **(f)** Br গ্রুপ।

3. (a) টলুইন প্রস্তুতির দুটি সংশ্লেষণ পদ্ধতি লেখো। বিভিন্ন অবস্থায় টলুইনের সঙ্গে ক্লোরিনের বিক্রিয়া বর্ণনা করো।

(b) উৎপন্ন পদার্থগুলির আর্দ্রবিশ্লেষণ ঘটালে কী কী পদার্থ উৎপন্ন হয়?

(c) বেনজিনকে টলুইনে এবং টলুইনকে বেনজিনে কীভাবে রূপান্তরিত করবে?

4. (a) বেনজিনের ওজোনোলিসিস বিক্রিয়ার বর্ণনা দাও। এই বিক্রিয়া থেকে বেনজিন অণুর গঠন সম্পর্কে কী ধারণা করা যায়? **(b)** বেনজিন বলয় থেকে NH_2, OH, COOH, NO_2, CN মূলক কীভাবে অপসারিত করবে?

5. (a) পরীক্ষাগারে কী উপায়ে নাইট্রোবেনজিন উৎপন্ন করা হয়? **(b)** নাইট্রোবেনজিনকে ক্ষারীয়, আম্লিক ও প্রশম অবস্থায় বিজারিত করলে কী কী পদার্থ উৎপন্ন হয়?

6. (a) নাইট্রোবেনজিন থেকে পরীক্ষাগারে কীভাবে অ্যানিলিন প্রস্তুত করা হয়? **(b)** অ্যানিলিনের সঙ্গে **(i)** অ্যাসিটিক অ্যানহাইড্রাইড, **(ii)** অতিরিক্ত ব্রোমিন জল, **(iii)** জলীয় $NaNO_2$ এবং লঘু HCl, **(iv)** ক্লোরোফর্ম ও অ্যালকোহলীয় KOH-এর বিক্রিয়া সমীকরণসহ বিবৃত করো।

7. (a) বেনজিন ডায়াজোনিয়াম ক্লোরাইড কীভাবে প্রস্তুত করা হয়? রাসায়নিক সমীকরণ লেখো।
(b) বেনজিন ডায়াজোনিয়াম ক্লোরাইডের সঙ্গে নীচের বিকারকগুলির বিক্রিয়ায় কী উৎপন্ন হয় লেখো—
(i) H_3PO_2, **(ii)** HCl ও CuCl, **(iii)** KCN ও CuCN, **(iv)** KI.

8. (a) বেনজিন থেকে ফেনল প্রস্তুতির পদ্ধতি লেখো। **(b)** অ্যালিফ্যাটিক অ্যালকোহলের সঙ্গে ফেনলের পার্থক্য কী? **(c)** ফেনলের সঙ্গে **(i)** CH_3COCl, **(ii)** $CHCl_3$ ও KOH, **(iii)** Br_2 জল এবং **(iv)** HCHO-এর বিক্রিয়া সমীকরণসহ লেখো। **(d)** ফেনলকে কী পরীক্ষা দ্বারা শনাক্ত করবে?

9. (a) ফ্রিডেল-ক্রাফ্‌টস অ্যালকিলেশন বিক্রিয়ার সীমাবদ্ধতা কী? **(b)** কীভাবে *n*-প্রোপাইল বেনজিন প্রস্তুত করবে?

10. (a) রোজেনমান্ড বিজারণ এবং গ্রিগনার্ড বিকারকের মাধ্যমে কীভাবে বেনজালডিহাইড প্রস্তুত করবে? **(b)** বেনজালডিহাইডের সঙ্গে নীচের বিকারকগুলির বিক্রিয়া লেখো—
(i) PCl_5, **(ii)** গাঢ় KOH, **(iii)** 2,4-ডাই নাইট্রো ফিনাইল হাইড্রাজিন, **(iv)** অ্যাসিটিক অ্যানহাইড্রাইড ও সোডিয়াম অ্যাসিটেট।

11. (a) কোল্‌বে স্মিট এবং রাইমার টিম্যান বিক্রিয়ার মাধ্যমে কীভাবে স্যালিসাইলিক অ্যাসিড প্রস্তুত করা হয়? **(b)** মিথাইল স্যালিসাইলেট কীভাবে প্রস্তুত করা হয়? এর ব্যবহার উল্লেখ করো।

12. (a) থ্যালিমাইড থেকে কীভাবে অ্যানথ্রানিলিক অ্যাসিড প্রস্তুত করবে? **(b)** অ্যানথ্রানিলিক অ্যাসিড থেকে স্যাকারিন প্রস্তুত করার বিক্রিয়া লেখো।

13. টীকা লেখো ঃ (i) ফ্রিডাল-ক্রাফট বিক্রিয়া [*H.S. '2000, '02*], **(ii)** উর্জ ফিটিগ বিক্রিয়া, **(iii)** স্যান্ডমেয়ার বিক্রিয়া [*H.S. '96, 2001*], **(iv)** কাপলিং বিক্রিয়া [*H.S. '99, '02*], **(v)** ডায়াজো বিক্রিয়া [*H.S. '92, 2001*], **(vi)** বেনজিন বলয়ে ক্লোরিনেশন, **(vii)** গটারম্যান বিক্রিয়া [*H.S. 2000*], **(viii)** হফ্‌ম্যান বিক্রিয়া [*H.S. '02*], **(ix)** পার্কিন বিক্রিয়া, **(x)** রাইমার-টিম্যান বিক্রিয়া।

14. কীভাবে পার্থক্য দেখাবে ঃ—
(i) অ্যাসিট্যালডিহাইড ও বেনজালডিহাইড [*H.S. 2001*], **(ii)** বেনজাইলক্লোরাইড ও ক্লোরোবেনজিন [*H.S. 2001*], **(iii)** *n*-হেক্সানল এবং ফেনল, **(iv)** *n*-হেক্সাইল অ্যামিন ও অ্যানিলিন, **(v)** অ্যাসিটামাইড ও বেনজামাইড [*H.S. '98*], **(vi)** ফেনল এবং অ্যানিলিন, **(vii)** অ্যানিলিন এবং নাইট্রোবেনজিন।

15. কী ঘটে রাসায়নিক সমীকরণ সহ উল্লেখ করো— [*H.S. '97, 2001*]
- **(i)** অ্যানিলিনের সঙ্গে ক্লোরোফর্ম এবং অ্যালকোহলীয় KOH দ্রবণ সহ উত্তপ্ত করা হল। [*H.S. 2001*]
- **(ii)** ফুটন্ত টলুইনের মধ্যে ক্লোরিন চালনা করা হল। [*H.S. '91*]
- **(iii)** বেনজিন ডায়াজোনিয়ামক্লোরাইডের সঙ্গে ইথানল মিশিয়ে গরম করা হল। [*H.S. '91*]
- **(iv)** ক্ষারীয় ফেনলের সঙ্গে ইথাইল আয়োডাইড মেশানো হল। [*H.S. '91*]
- **(v)** অ্যানিলিনের সঙ্গে অতিরিক্ত ব্রোমিন জল মেশানো হল।
- **(vi)** অ্যানিলিনকে 180°C উষ্ণতায় ওলিয়ামে উত্তপ্ত করা হল।
- **(vii)** অ্যানিলিনে লঘু HCl এবং $NaNO_2$-এর জলীয় দ্রবণ যোগ করা হল।
- **(viii)** অ্যানিলিনকে অ্যাসিটাইল ক্লোরাইডের সঙ্গে মেশানো হল।
- **(ix)** ফেনলকে Zn চূর্ণসহ উত্তপ্ত করা হল।
- **(x)** টলুইনকে ক্রোমিল ক্লোরাইডের সঙ্গে বিক্রিয়া করিয়ে উৎপন্ন পদার্থের আর্দ্রবিশ্লেষণ করা হল।
- **(xi)** টলুইনকে জারণ করার পর প্রাপ্ত পদার্থের সঙ্গে থায়োনিল ক্লোরাইডের বিক্রিয়া করা হল।
- **(xii)** ফেনলের মধ্যে ব্রোমিন জল যোগ করা হল।
- **(xiii)** অনার্দ্র $AlCl_3$-এর উপস্থিতিতে বেনজিনের সাথে অ্যাসিটাইল ক্লোরাইডের বিক্রিয়া করা হল।
- **(xiv)** অতিরিক্ত ব্রোমিন জলের সঙ্গে স্যালিসাইলিক অ্যাসিডের বিক্রিয়া করানো হল।
- **(xv)** স্যালিসাইলিক অ্যাসিডকে সোডালাইম সহ উত্তপ্ত করা হল।
- **(xvi)** থ্যালিমাইড-এর সঙ্গে NaOH এবং NaOCl দ্রবণের বিক্রিয়া করানো হল।

16. নীচের পরিবর্তনগুলি কীভাবে সম্পন্ন করা যায় বিবৃত করো ঃ [*H.S. '96*]
- **(i)** বেনজিন থেকে টলুইন এবং টলুইন থেকে বেনজিন।
- **(ii)** বেনজিন থেকে বেনজোয়িক অ্যাসিড এবং বেনজোয়িক অ্যাসিড থেকে বেনজিন। [*H.S. '02*]
- **(iii)** ক্লোরোবেনজিন থেকে অ্যানিলিন এবং অ্যানিলিন থেকে ক্লোরোবেনজিন।
- **(iv)** নাইট্রোবেনজিন থেকে ফেনল এবং ফেনল থেকে নাইট্রোবেনজিন।
- **(v)** ফেনল থেকে অ্যানিলিন এবং অ্যানিলিন থেকে ফেনল।

(vi) বেনজিন থেকে বেনজালডিহাইড এবং বেনজালডিহাইড থেকে বেনজিন। *[H.S. '87, '89]*
(vii) অ্যানিলিন থেকে ফিনাইল আইসোসায়ানাইড। *[H.S. '96]*
(viii) বেনজিন থেকে ফেনল এবং ফেনল থেকে বেনজিন। *[H.S. (Trip.) '83, H.S. '89]*
(ix) ফেনল থেকে স্যালিসাইলিক অ্যাসিড ও বেনজিন কীভাবে পাওয়া যায়? *[H.S. '96]*
(x) বেনজিন অথবা নাইট্রোবেনজিন থেকে ফিনাইল হাইড্রাজিন। *[H.S. '96,]*
(xi) **(a)** বেনজিন থেকে ফেনল এবং **(b)** ফেনল থেকে স্যালিসাইলিক অ্যাসিড।
(xii) টলুইন থেকে বেনজালডিহাইড এবং অ্যানিলিন থেকে আয়োডোবেনজিন।
(xiii) দুই ধাপে বেনজিন থেকে *p*-ক্লোরোনাইট্রোবেনজিন।
(xiv) বেনজিন থেকে বেনজাইলক্লোরাইড। *[H.S. '97]*
(xv) বেনজিন বা নাইট্রোবেনজিন থেকে ফিনাইল হাইড্রক্সিলঅ্যামিন। *[H.S. 2000]*
(xvi) বেনজিন বা অ্যানিলিন থেকে ফিনাইলহাইড্রাজিন।
(xvii) বেনজিন থেকে **(a)** টলুইন, **(b)** নাইট্রোবেনজিন, **(c)** অ্যানিলিন, **(d)** ক্লোরোবেনজিন, **(e)** ফেনল। *[H.S. 2001]*
(xviii) ফেনল থেকে পিকরিক অ্যাসিড।
(xix) অ্যানিলিন থেকে প্যারা-ব্রোমো অ্যানিলিন।
(xx) অ্যানথ্রানিলিক অ্যাসিড থেকে স্যালিসাইলিক অ্যাসিড।
(xxi) থ্যালিমাইড থেকে অ্যানথ্রানিলিক অ্যাসিড।
(xxii) অ্যানিলিন থেকে নাইট্রোবেনজিন।

17. নীচের বিক্রিয়াগুলিকে উৎপাদিত পদার্থগুলির (A B C D ইত্যাদি) নাম ও সংকেত লেখো—

(i) $C_6H_6 \xrightarrow[AlCl_3]{CH_3I} (A) \xrightarrow[KMnO_4]{[O]} (B) \xrightarrow[\text{বাষ্পীভবন}]{Na_2CO_3} (C) \xrightarrow[\text{তাপ}]{\text{সোডালাইম}} (D)$ *[H.S. (Trip.) '86]*

[*Ans.* (A) = $C_6H_5CH_3$, (B) = C_6H_5COOH, (C) = C_6H_5COONa, (D) = C_6H_6]

(ii) $C_6H_6 \xrightarrow[AlCl_3]{CH_3COCl} (A) \xrightarrow[\text{(ii) } H_2O^+ \ \Delta]{\text{(i) ক্ষারীয় } KMnO_4} (B) \xrightarrow{NH_3} (C) \xrightarrow{\Delta} (D) \xrightarrow[KOH]{Br_2} (E)$

[*Ans.* (A) = $C_6H_5COCH_3$, (B) = C_6H_5COOH, (C) = $C_6H_5COONH_4$, (D) = $C_6H_5CONH_2$, (E) = $C_6H_5NH_2$]

(iii) $C_6H_6 + CH_3Cl \xrightarrow{AlCl_3} (A) \xrightarrow[\text{আলোক}]{Cl_2 \text{ (1 মোল)}} (B) \xrightarrow{NH_3} (C) \xrightarrow{HNO_2} (D)$

[*Ans.* (A) = $C_6H_5CH_3$, (B) = $C_6H_5CH_2Cl$, (C) = $C_6H_5CH_2NH_2$, (D) = $C_6H_5CH_2OH$]

(iv) $C_6H_5NO_2 \xrightarrow[Sn/HCl]{[H]} (A) \xrightarrow{CHCl_3 + KOH} (B)$ [*Ans.* (A) = $C_6H_5NH_2$, (B) = C_6H_5NC]

(v) $C_6H_5OH \xrightarrow[\text{তাপ}]{\text{Zn চূর্ণ}} (A) \xrightarrow[H_2SO_4,\ 60^\circ C]{HNO_3} (B) \xrightarrow[Sn/HCl]{[H]} (C) \xrightarrow[NaNO_2/HCl]{0^\circ C} (D) \xrightarrow{C_2H_5OH} (E)$

[*Ans.* (A) = C_6H_6, (B) = $C_6H_5NO_2$, (C) = $C_6H_5NH_2$, (D) = $C_6H_5N{=\!=}N{-}Cl$, (E) = C_6H_6]

(vi) $C_6H_6 \xrightarrow{\text{গাঢ় } H_2SO_4} (A) \xrightarrow{NaOH} (B) \xrightarrow[\text{NaOH তাপ}]{\text{শুষ্ক লবণ}} (C) \xrightarrow{HCl} (D)$

[*Ans.* (A) = $C_6H_5SO_3H$, (B) = $C_6H_5SO_3Na$, (C) = C_6H_5ONa, (D) = C_6H_5OH]

(vii) $C_6H_5CH_3 \xrightarrow[KMnO_4]{[O]} (A) \xrightarrow{SOCl_2} (B) \xrightarrow{NH_3} (C) \xrightarrow{Br_2/KOH} (D)$

[*Ans.* (A) = C_6H_5COOH, (B) = C_6H_5COCl, (C) = $C_6H_5{-}CONH_2$, (D) = $C_6H_5NH_2$]

(viii) $C_6H_6 \xrightarrow[\text{অনার্দ্র } AlCl_3]{CH_3COCl} (A) \xrightarrow[Zn/HCl]{[H]} (B)$ [*Ans.* (A) = $C_6H_5COCH_3$, (B) = $C_6H_5CH_2CH_3$]

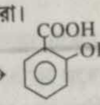
(ix) $C_6H_5OH \xrightarrow[\Delta]{\text{Zn চূর্ণ}} (A) \xrightarrow[AlCl_3]{CH_3Cl} (B) \xrightarrow[H_2SO_4]{\text{গাঢ় } HNO_3} (C)$

[*Ans.* (A) = C_6H_6, (B) = $C_6H_5CH_3$, (C) = O এবং *p*-নাইট্রোটলুইন]

(x) $C_6H_5CH_3 \xrightarrow[40^\circ C]{MnO_2 + H_2SO_4} (A) \xrightarrow{[O]} (B) \xrightarrow[\Delta]{NaOH + \text{সোডালাইম}} (C)$

[*Ans.* (A) = C_6H_5CHO, (B) = C_6H_5COOH, (C) = C_6H_6]

18. নীচের বিক্রিয়াগুলিতে বিকারকগুলির নাম লেখো এবং প্রয়োজনে শর্তের উল্লেখ করো।

(i) $C_6H_6 \xrightarrow{I} C_6H_5SO_3H \xrightarrow{II} C_6H_5ONa \xrightarrow{III} C_6H_5OH \xrightarrow{IV}$ 

(ii) $C_6H_5NO_2 \xrightarrow{I} C_6H_5NH_2 \xrightarrow{II} C_6H_5N{=}N{-}Cl \xrightarrow{III} C_6H_6$

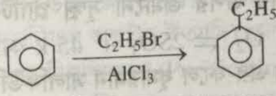
(iii) $C_6H_5CH_3 \xrightarrow{I} C_6H_5COOH \xrightarrow{II} C_6H_5COONa \xrightarrow{III} C_6H_6$ [*H.S.* '90]

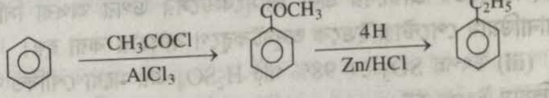
(iv) $C_6H_5CH_3 \xrightarrow{I} C_6H_5CHO$

(v) $C_6H_5COOH \xrightarrow{I} C_6H_5COONH_4 \xrightarrow{II} C_6H_5CONH_2 \xrightarrow{III} C_6H_5NH_2$

$C_6H_5CONH_2 \xrightarrow{IV} C_6H_5CN \xrightarrow{V} C_6H_5CH_2NH_2$

20. ইথাইল বেনজিন নীচের দুটি উপায়ে প্রস্তুত করা যায়—

(i) 

(ii) 

কোন পদ্ধতি বাস্তব বিবেচনায় তোমার কাছে গ্রহণীয় মনে হয় এবং কেন?
অথবা, বেনজিনের সহজ অ্যালকাইলেশনের মাধ্যমে কেন ইথাইল বেনজিন তৈরি করা হয় না? একটি উপযোগী পদ্ধতিতে এর সংশ্লেষণ রচনা করো। [*H.S.* '02]

21. কার্বন ও হাইড্রোজেনের সাহায্যে কী করে বেনজিন তৈরি করবে?

[*Ans.* দুটি কাচের বালবের মধ্যে দুটি কার্বন তড়িদ্দ্বারের মধ্যে তড়িৎ-ক্ষরণ করা হয় এবং সেই সঙ্গে শুষ্ক H_2 গ্যাস চালনা করা হলে C এবং H_2 যুক্ত হয়ে অ্যাসিটিলিন উৎপন্ন করে। উৎপন্ন C_2H_2-কে 500°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত Cu নলের মধ্যে চালনা করলে, 3 অণু C_2H_2 যুক্ত হয়ে বেনজিন অণুতে পরিণত হয়।

$2C + H_2 \xrightarrow[\text{ক্ষরণ}]{\text{তড়িৎ}} C_2H_2$, $\quad 3C_2H_2 \xrightarrow[500^\circ C]{\text{Cu নল}} \underset{\text{বেনজিন}}{C_6H_6}$]

[D] গাণিতিক প্রশ্ন ঃ

1. একটি অ্যারোমেটিক জৈব যৌগ (A)-এর মৌলগুলির ওজন অনুপাত হল, C = 77·42%, H = 7·53% এবং N = 15·05 %। এই যৌগটির বাষ্প ঘনত্ব 46·5। যৌগটির আণবিক সংকেত নির্ণয় করো। (A) যৌগটি HCl-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় একটি লবণ (B) উৎপন্ন করে। (B) লবণটি ঠান্ডা HNO_2 সঙ্গে বিক্রিয়ায় ডায়াজোনিয়াম লবণ (C)-এ পরিণত হয় যা ক্ষারীয় β ন্যাপথলের সঙ্গে বিক্রিয়ায় লাল রং-এর যৌগ (D)-এর অধঃক্ষেপ দেয়। A, B, C এবং D কে শনাক্ত করো।

2. C, H এবং O পরমাণু বিশিষ্ট একটি যৌগের দুটি আইসোমার (A) এবং (B) আছে। একটি আইসোমারের 0·108 g নিয়ে দহন করলে 0·308 g CO_2 এবং 0·072 H_2O পাওয়া যায়। (A) NaOH এবং $NaHCO_3$-এ অদ্রাব্য কিন্তু (B) NaOH-এ দ্রাব্য। (A) গাঢ় HI-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে (C) এবং (D) যৌগ উৎপন্ন করে। (D) NaOH-এ দ্রাব্য এবং $FeCl_3$-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় বেগুনি বর্ণ ধারণ করে। (D) অতিরিক্ত ব্রোমিন জলের সঙ্গে বিক্রিয়া করে একটি সাদা অধঃক্ষেপ যুক্ত যৌগ (E) দেয় যার ফর্মুলা $C_6H_3OBr_3$। A, B, C, D-এবং E কে শনাক্ত করো।

3. $C_6H_5O_2N$ সংকেতবিশিষ্ট একটি যৌগকে (A) Sn/HCl দ্বারা বিজারিত করলে (B) যৌগ উৎপন্ন হয়, যার আণবিক সংকেত C_6H_7N. (B)-কে ঠান্ডা HCl-এর দ্রবীভূত করে $NaNO_2$ দ্রবণ যোগ করা হল এবং উৎপন্ন পদার্থের সঙ্গে KCN-এর বিক্রিয়া ঘটিয়ে আর্দ্র-বিশ্লেষিত করা হলে (C) যৌগ উৎপন্ন হয়। (C)-কে সোডালাইম দিয়ে উত্তপ্ত করলে বেনজিন উৎপন্ন হয়। A, B এবং C-কে শনাক্ত করো।

4. C_7H_8 আণবিক সংকেতবিশিষ্ট একটি জৈব যৌগ (A)-এর মধ্যে সূর্যালোকের উপস্থিতিতে অতিরিক্ত Cl_2 গ্যাস চালনা করলে $C_7H_5Cl_3$ আণবিক সংকেতবিশিষ্ট (B) যৌগ উৎপন্ন হয় যাকে চুন জল দ্বারা আর্দ্র-বিশ্লেষিত করলে $C_7H_6O_2$ আণবিক সংকেতবিশিষ্ট (C) যৌগ গঠিত হয়। (A)-যৌগকে $K_2Cr_2O_7$ এবং গাঢ় H_2SO_4 দ্বারা জারিত করলে (C) যৌগ পাওয়া যায়। A, B এবং C যৌগকে শনাক্ত করো। বিক্রিয়াগুলির সমীকরণ সহ ব্যাখ্যা দাও। বিজারিত লৌহচূর্ণের উপস্থিতিতে A যৌগের মধ্যে Cl_2 চালনা করলে কী হবে?

7 শিল্পোৎপাদনে রসায়ন
[Chemistry in Industry]

• ভারী রাসায়নিক দ্রব্য •

7.1. সালফিউরিক অ্যাসিডের শিল্পোৎপাদন [Large scale production of sulphuric acid]

[A] ভৌত রাসায়নিক নীতি ঃ স্পর্শ পদ্ধতি দ্বারা সালফিউরিক অ্যাসিড উৎপাদন ঃ

(i) এই পদ্ধতিতে প্রথমে সালফারকে বায়ুর মধ্যে দহন করে SO_2 গ্যাস উৎপন্ন করা হয় অথবা আয়রন পাইরাইটিসকে বায়ুতে পুড়িয়ে SO_2 উৎপন্ন করা হয়। $4FeS_2 + 11O_2 = 2Fe_2O_3 + 8SO_2\uparrow$

$$S + O_2 = SO_2$$

(ii) উৎপন্ন সালফার ডাইঅক্সাইডকে বায়ুর অক্সিজেন দ্বারা জারিত করে সালফার ট্রাইঅক্সাইডে পরিণত করা হয়। সালফার ডাইঅক্সাইডের জারণের জন্য অ্যাস্‌বেস্টসের উপর অথবা সিলিকা জেলের উপর জমানো সূক্ষ্ম প্ল্যাটিনাম চূর্ণ অথবা ভ্যানাডিয়াম পেন্টোক্সাইডকে অনুঘটকরূপে ব্যবহার করা হয়। $2SO_2 + O_2 \rightleftharpoons 2SO_3 + 45$ k ক্যালোরি

(iii) উৎপন্ন SO_3-কে 98% গাঢ় H_2SO_4-এর মধ্যে শোষিত করানো হয়। এর ফলে **ধূমায়মান সালফিউরিক অ্যাসিড বা ওলিয়াম** উৎপন্ন হয়। $SO_3 + H_2SO_4 = H_2S_2O_7$ (ওলিয়াম)

(iv) পরে ওলিয়ামের সঙ্গে পরিমাণমতো জল যোগ করলে প্রায় 100% বিশুদ্ধ H_2SO_4 পাওয়া যায়।

$$H_2S_2O_7 + H_2O = 2H_2SO_4$$

সালফার ডাইঅক্সাইডের জারণই এই পদ্ধতির প্রধান প্রক্রিয়া। সহজে এবং সুলভে H_2SO_4 উৎপাদনের জন্য কতকগুলি ব্যবস্থা গ্রহণ করা হয়। SO_2-এর জারণের সমীকরণ হল $2SO_2 + O_2 \rightleftharpoons 2SO_3 + 45$ k cal, বিক্রিয়াটি—**(i)** উভমুখী, **(ii)** সম্মুখ বিক্রিয়াটি তাপ উৎপাদক এবং **(iii)** সম্মুখ বিক্রিয়ায় আয়তন কমে যায়, ফলে চাপ হ্রাস পায়।

(1) তাপের প্রভাব ঃ সম্মুখ বিক্রিয়াটি তাপ উৎপাদক সুতরাং বিপরীত বিক্রিয়াটি তাপ শোষক। লা শাতেলিয়ারের নীতি-অনুযায়ী এই বিক্রিয়ায় **(i) উষ্ণতা বাড়ালে** বিক্রিয়াটি এমন দিকে হবে যেদিকে হলে বাড়তি তাপ শোষিত হবে। যেহেতু বিপরীত বিক্রিয়াটি তাপ শোষক সুতরাং এক্ষেত্রে বিপরীত দিকে বিক্রিয়াটি হবে ফলে SO_3-এর উৎপাদন কমে যাবে। **(ii)** আবার **উষ্ণতা কমালে** বিক্রিয়াটি এমন দিকে ঘটবে যেদিকে হলে ঘাটতি তাপ পূরণ হয়। এখন যেহেতু সম্মুখ বিক্রিয়াটি তাপ উৎপাদক, তাই ঘাটতি তাপ পূরণের জন্য এক্ষেত্রে সম্মুখ বিক্রিয়া হবে, ফলে SO_3-এর উৎপাদন বাড়বে। কিন্তু দেখা গেছে যে কম উষ্ণতায় বিক্রিয়াটি ঘটালে SO_3-এর পরিমাণ বেশি পাওয়া গেলেও বিক্রিয়ার বেগ এত কমে যায় যে, শিল্প-উৎপাদনে এই প্রক্রিয়া অচল হয়ে যায়। আবার উষ্ণতা বাড়ালে বিক্রিয়ার বেগ বেড়ে গেলেও SO_3-এর উৎপাদন অনেক কমে যায়। **(iii)** নানা পরীক্ষা করে দেখা গেছে যে 450°C উষ্ণতায় বিক্রিয়াটি সম্পন্ন করলে বিক্রিয়ার বেগ এবং SO_3-এর উৎপাদন মোটামুটি সন্তোষজনক হয়— প্রায় 98% SO_3 পাওয়া যায়। এইজন্য বিক্রিয়াটি 450°C উষ্ণতায় ঘটানো হয়। এই উষ্ণতাকে **অপটিমাম টেম্পারেচার** (Optimum temperature) বলে।

(2) চাপের প্রভাব ঃ বিক্রিয়াটিতে দেখা যায় সম্মুখ বিক্রিয়ায় গ্যাসের আয়তন হ্রাস পায় ফলে চাপ কমে যায়। লা শাতেলিয়ারের নীতি অনুযায়ী কোনো উভমুখী বিক্রিয়ায় চাপ বাড়ালে বিক্রিয়াটি এমন দিকে হবে যেদিকে হলে সিস্টেমটি বাড়তি চাপ মুক্ত হয়। যেহেতু সম্মুখ বিক্রিয়ায় চাপের হ্রাস হয় তাই এক্ষেত্রে সম্মুখ বিক্রিয়া হবে ফলে SO_3-এর উৎপাদন বাড়বে। তাহলেও এই পদ্ধতিতে বেশি চাপ প্রয়োগ করা হয় না, কারণ উপযুক্ত উষ্ণতায় এবং অনুঘটকের উপস্থিতিতেই যথেষ্ট SO_3 উৎপন্ন হয়। বেশি চাপে বিক্রিয়া প্রকোষ্ঠের ক্ষয় হতে পারে। **বিক্রিয়াটি মোটামুটি 1·5 বায়ুমণ্ডল চাপে সম্পন্ন করা হয়।**

(3) অনুঘটক ঃ বিক্রিয়াটিকে তাড়াতাড়ি সাম্যে পৌঁছে দেওয়ার জন্য এবং বিক্রিয়ার বেগ বাড়ানোর জন্য এই বিক্রিয়ায় কঠিন অনুঘটক ব্যবহার করা হয়। অনুঘটক যত বিচূর্ণ অবস্থায় থাকে, তার কার্যক্ষমতা তত বেশি হয়। SO_2-এর জারণের জন্য অ্যাস্‌বেস্টসের উপর বা সিলিকা জেলের উপর জমানো সূক্ষ্ম প্ল্যাটিনাম চূর্ণ অনুঘটক রূপে ব্যবহার করা হয়। ভ্যানাডিয়াম পেন্টোক্সাইডও অনুঘটক রূপে ব্যবহৃত হয়।

(4) বিক্রিয়ক পদার্থের গাঢ়ত্ব : $2SO_2 + O_2 \rightleftharpoons 2SO_3$—এই বিক্রিয়াটির সাম্য ধ্রুবকের মান নির্দিষ্ট।

$$K_c = \frac{[SO_3]^2}{[SO_2]^2 \times [O_2]}$$

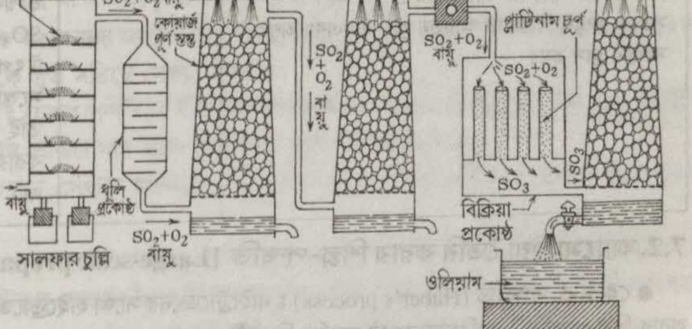
তাই এই বিক্রিয়ায় SO_2 বা O_2-এর মধ্যে যে-কোনো একটির গাঢ়ত্ব বাড়ালে SO_3-এর উৎপাদন বাড়ে। **এই বিক্রিয়ায় O_2-এর গাঢ়ত্ব বাড়ালে সম্মুখ বিক্রিয়া ঘটে ফলে SO_3-এর উৎপাদন বাড়ে।** এইজন্য বিক্রিয়ক গ্যাস মিশ্রণের মধ্যে অক্সিজেনের পরিমাণ বেশি থাকা দরকার। কিন্তু SO_2-এ জারণে সরাসরি O_2 ব্যবহার না করে বায়ু ব্যবহার করা হয়। খুব বেশি পরিমাণ বায়ু নেওয়া উচিত নয়, কারণ এর ফলে গ্যাস মিশ্রণে নাইট্রোজেনের পরিমাণ বেড়ে যায় ফলে SO_3-এর উৎপাদন কমে যায়।

(5) SO_3 এবং বাতাসের মিশ্রণের মধ্যে ধূলিকণা, অশুদ্ধি, বিশেষ করে **আর্সেনিক অশুদ্ধি** থাকলে মূল্যবান অনুঘটক নষ্ট হয়ে যাওয়ার সম্ভাবনা থাকে। সেইজন্য বিক্রিয়া-প্রকোষ্ঠে পাঠাবার আগে খুব সতর্কতার সঙ্গে পরীক্ষা করে দেখে নিতে হয় যেন গ্যাসমিশ্রণে কোনো অশুদ্ধি না থাকে।

[B] পদ্ধতি :

(a) সালফার ডাইঅক্সাইড উৎপাদন (Production of SO_2) **:** সালফার চুল্লির মধ্যে **সালফার কিংবা আয়রন পাইরাইটিসকে অতিরিক্ত বায়ুতে পুড়িয়ে সালফার ডাইঅক্সাইড উৎপন্ন করা হয়।** চুল্লি থেকে যে গ্যাসমিশ্রণ (SO_2 + বায়ু) বেরিয়ে আসে তার মধ্যে প্রায় 8% সালফার ডাইঅক্সাইড, 10% অক্সিজেন থাকে এবং এছাড়া নাইট্রোজেন এবং অন্যান্য অশুদ্ধি (ধূলিকণা, অ্যাসিডবাষ্প, সালফার গুঁড়া, আর্সেনিয়াস অক্সাইড ইত্যাদি) মেশানো থাকে।

(b) গ্যাসমিশ্রণের বিশুদ্ধিকরণ (Purification) **: (i)** গ্যাসমিশ্রণকে ধূলিরোধক প্রকোষ্ঠের মধ্যে চালনা করা হয় এবং সঙ্গে সঙ্গে ধূলি প্রকোষ্ঠের মধ্যে স্টিম চালনা করা হয়। এর ফলে ভাসমান ধূলিকণা, আর্সেনাস অক্সাইড ইত্যাদি অনেকটা দূর হয়। **(ii)** এরপর গ্যাসমিশ্রণকে ঠান্ডা করে অশুদ্ধিগুলি দূর করার জন্য পরপর কয়েকটি কোয়ার্জপূর্ণ স্তম্ভের ভিতর দিয়ে চালনা করা হয়। প্রথম কয়েকটি স্তম্ভের **উপর থেকে জলের ধারা** ফেলা হয়। এর ফলে গ্যাসমিশ্রণের দ্রাব্য অশুদ্ধিগুলি জলে দ্রবীভূত হয়ে দূর হয় এবং গ্যাসমিশ্রণ ঠান্ডা হয়। **(iii)** এরপর গ্যাসমিশ্রণকে কোয়ার্জপূর্ণ আর একটি স্তম্ভের নীচ থেকে উপরের দিকে চালনা করা হয়, উপর থেকে নীচের দিকে **গাঢ় সালফিউরিক** অ্যাসিডের ধারা ফেলা হয়, এর ফলে গ্যাসমিশ্রণ শুষ্ক ও বিশুদ্ধ হয়। **(iv)** এরপর গ্যাসমিশ্রণটি সম্পূর্ণ বিশুদ্ধ হয়েছে কিনা দেখার জন্য **টিন্ডাল পরীক্ষা করা হয়।** পরীক্ষা করার পর শুষ্ক ও বিশুদ্ধ গ্যাসমিশ্রণকে বিক্রিয়া-প্রকোষ্ঠে পাঠানো হয়। আধুনিক প্লান্টে ধূলিকণা তাড়াবার জন্য ইলেকট্রোস্ট্যাটিক যন্ত্র ব্যবহার করা হয়।



চিত্র 7.1 : সালফার ডাইঅক্সাইডের শিল্প উৎপাদন পদ্ধতি

(c) সালফার ডাইঅক্সাইডের জারণ (Oxidation of SO_2) **:** বিক্রিয়া-প্রকোষ্ঠে পাঠাবার আগে গ্যাস মিশ্রণটিকে আবার উত্তপ্ত করা হয়। এই উত্তপ্ত গ্যাস-মিশ্রণকে বিক্রিয়া-প্রকোষ্ঠে পাঠানো হয়। বিক্রিয়া-প্রকোষ্ঠে কতকগুলি লোহার নলের মধ্যে অ্যাসবেসটসের উপর জমানো প্ল্যাটিনামের সূক্ষ্ম চূর্ণ কিংবা ভ্যানাডিয়াম পেন্টোক্সাইড অনুঘটক রেখে 440°C—450°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত করা হয়। অনুঘটকের সংস্পর্শে গ্যাসমিশ্রণটি এলে, SO_2 জারিত হয়ে SO_3 উৎপন্ন হয় এবং সঙ্গে সঙ্গে প্রচুর তাপ সৃষ্টি হয় তাই বাইরে থেকে তাপ দেওয়ার আর প্রয়োজন হয় না। কম উষ্ণ গ্যাসমিশ্রণ এই তাপ শোষণ করে নেয় বলে অনুঘটকের উষ্ণতা বাড়তে পারে না। এইভাবে 98% SO_2 জারিত হয়ে SO_3-তে পরিণত হয়। উৎপন্ন SO_3 বিক্রিয়া-প্রকোষ্ঠ থেকে বেরিয়ে আসে।

(d) সালফার ট্রাইঅক্সাইডের শোষণ (Absorption of SO_3) **:** বিক্রিয়া-প্রকোষ্ঠ থেকে নির্গত SO_3-কে ঠান্ডা করে কোয়ার্জপূর্ণ আর একটি স্তম্ভের ভিতর চালনা করা হয়। এই স্তম্ভের উপর থেকে গাঢ় H_2SO_4-এর ধারা ফেলা হয়। গাঢ় H_2SO_4 দ্বারা SO_3 শোষিত হয়ে ধূমায়মান সালফিউরিক অ্যাসিড বা ওলিয়ামে ($H_2S_2O_7$) পরিণত হয়। স্তম্ভের নীচে একটি ট্যাঙ্কের (চিত্র : 7.1) মধ্যে ধূমায়মান সালফিউরিক অ্যাসিড (ওলিয়াম) জমা হয়।

(e) এইভাবে উৎপন্ন ওলিয়ামের সঙ্গে পরিমাণ মতো জল মেশালে বিশুদ্ধ 98% H_2SO_4 পাওয়া যায়।

● **SO_3-কে সরাসরি জলে মেশানো হয় না**, এর কারণ হল, SO_3-কে সরাসরি জলে মেশালে H_2SO_4 উৎপন্ন হয় বটে কিন্তু SO_3-এর সঙ্গে জলে বিক্রিয়া অত্যন্ত তীব্রভাবে ঘটে, ফলে SO_3-কে জলে মেশানোর সময় এতো বেশি তাপ উৎপন্ন হয় যে বেশির ভাগ SO_3 কুয়াশার আকারে বেরিয়ে যায়, সামান্য অংশই দ্রবীভূত হয়। ফলে SO_3-এর অপচয় হয়। তাছাড়া উৎপন্ন H_2SO_4-এর কিছু অংশ ওই তাপে বিয়োজিত হয়ে SO_2 এবং O_2 উৎপন্ন করে ফলে H_2SO_4-এর অপচয় ঘটে।

$$2H_2SO_4 = 2H_2O + 2SO_2 + O_2$$

সেইজন্য SO_3-কে প্রথমে গাঢ় H_2SO_4-এ দ্রবীভূত করে ওলিয়াম ($H_2S_2O_7$) উৎপন্ন করা হয়। পরে এইভাবে উৎপন্ন $H_2S_2O_7$-এর সঙ্গে পরিমাণ মতো জল যোগ করে H_2SO_4 উৎপন্ন করা হয়। এই প্রক্রিয়ায় বেশি তাপ উৎপন্ন হয় না। এইজন্য SO_3-কে সরাসরি জলে মেশানো হয় না।

● **স্পর্শ পদ্ধতি দ্বারা সালফিউরিক অ্যাসিডের শিল্প প্রস্তুতিতে উৎপাদন বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় শর্ত ঃ**

বিক্রিয়ার সমীকরণ এবং বিক্রিয়া থেকে পাওয়া তথ্য	H_2SO_4-এর সর্বোচ্চ উৎপাদনের জন্য প্রয়োজনীয় শর্ত			
	গাঢ়ত্ব	চাপ	উষ্ণতা	অনুঘটক
$2SO_2\ (g) + O_2 \rightleftharpoons 2SO_3\ (g)$ + তাপ (i) বিক্রিয়াটি উভমুখী, (ii) সম্মুখ বিক্রিয়াটি তাপ উৎপাদক, সুতরাং বিপরীত বিক্রিয়াটি তাপ শোষক। (iii) বিক্রিয়ক গ্যাসের মোট আয়তন = 2 + 1 = 3 আয়তন বিক্রিয়াজাত গ্যাসের আয়তন = 2 সুতরাং সম্মুখ বিক্রিয়ায় আয়তন হ্রাস হয় এবং অণুর সংখ্যার হ্রাস হয়।	নির্দিষ্ট সীমা পর্যন্ত অতিরিক্ত O_2 (বায়ু) ব্যবহার।	সম্মুখ বিক্রিয়ার অনুকূল, তবে এই পদ্ধতিতে অপটিমাম উষ্ণতায় এবং অনুঘটকের উপস্থিতিতে SO_3-এর উৎপাদন সন্তোষজনক হয়, তাই চাপ প্রয়োগ করার দরকার হয় না।	কম উষ্ণতা সম্মুখ বিক্রিয়ায় অনুকূল অপটিমাম উষ্ণতা = 450°C	ভ্যানাডিয়াম পেন্টোক্সাইড অথবা প্লাটিনাইজড অ্যাসবেস্টস।

7.2. অ্যামোনিয়া তৈরি করার শিল্প-পদ্ধতি [Large-scale preparation of Ammonia]

● **হেবার পদ্ধতি** (Haber's process) ঃ নাইট্রোজেনের সঙ্গে হাইড্রোজেনের প্রত্যক্ষ সংযোগ ঘটিয়ে অ্যামোনিয়া তৈরি করার শিল্প-পদ্ধতিটি আবিষ্কার করেন জার্মান বিজ্ঞানী **হেবার**।

[A] নীতি ঃ অনুঘটকের উপস্থিতিতে 550°C তাপমাত্রায় 200 বায়ুমণ্ডল চাপে নাইট্রোজেন এবং হাইড্রোজেন পরস্পর যুক্ত হয়ে অ্যামোনিয়া উৎপন্ন করে। $N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3 + 22{\cdot}4$ k cal

[B] ভৌত-রাসায়নিক তত্ত্ব (Physico-chemical principles) ঃ এই বিক্রিয়াটিতে দেখা যায়—

(i) বিক্রিয়াটি উভমুখী, (ii) সম্মুখ বিক্রিয়াটি তাপ-উৎপাদক, সুতরাং বিপরীত বিক্রিয়াটি তাপশোষক। **(iii) সম্মুখ বিক্রিয়ায় গ্যাসের আয়তন তথা মোল সংখ্যা কমে যাওয়ার ফলে চাপের হ্রাস হয়।**

(i) তাপের প্রভাব ঃ (a) সম্মুখ বিক্রিয়াটি তাপ-উৎপাদক; সুতরাং বিপরীত বিক্রিয়াটি তাপ-শোষক। শাতেলিয়ারের নীতি অনুসারে বলা যায় এই বিক্রিয়ায় **উষ্ণতা বাড়ালে বিক্রিয়াটি এমন দিকে হবে যেদিকে হলে বাড়তি তাপ শোষিত হয়। যেহেতু বিপরীত বিক্রিয়াটি তাপ শোষক** তাই বাড়তি তাপ শোষণ করার জন্য বিপরীত দিকে বিক্রিয়া ঘটবে। এখন বিপরীত দিকে বিক্রিয়া ঘটলে NH_3 বিশ্লিষ্ট হয়ে N_2 এবং H_2 উৎপন্ন হবে, ফলে NH_3-এর উৎপাদন কমে যাবে।

(b) আবার **কম উষ্ণতায় বিক্রিয়াটি ঘটালে এমন দিকে বিক্রিয়া ঘটে যেদিকে হলে ঘাটতি তাপ পূরণ হবে।** যেহেতু সম্মুখ বিক্রিয়াটি তাপ উৎপাদক, তাই ঘাটতি তাপ পূরণের জন্য এক্ষেত্রে সম্মুখ বিক্রিয়াটি ঘটবে। সম্মুখ দিকে বিক্রিয়া ঘটলে NH_3-এর উৎপাদন বাড়ে ঠিকই তবে বিক্রিয়ার হার এত কমে যায় যে বিক্রিয়াটির সাম্য অবস্থায় আসতে অনেক সময় লাগে, ফলে বেশি পরিমাণে NH_3 উৎপাদন করতে অনেক সময় লাগে, যা শিল্প ক্ষেত্রে অচল।

নানা পরীক্ষা করে দেখা গেছে বিক্রিয়াটি 550°C **উষ্ণতায় ঘটালে সম্মুখ বিক্রিয়ার বেগ এবং NH_3-এর উৎপাদন মোটামুটি সন্তোষজনক হয়।** এই নির্বাচিত উষ্ণতাকে **অপটিমাম উষ্ণতা** (Optimum Temperature) বলে। সুতরাং **বিক্রিয়াটি 550°C উষ্ণতায় ঘটানো হয়।**

(ii) চাপের প্রভাব ঃ উপরের সমীকরণে দেখা যায় সম্মুখ বিক্রিয়া ঘটলে অণুর সংখ্যা কমে (4 অণু থেকে 2 অণু) অর্থাৎ আয়তন কমে, ফলে চাপ হ্রাস পায়। **শাতেলিয়ারের নীতি অনুসারে উভমুখী বিক্রিয়ায় চাপ বাড়ালে বিক্রিয়া এমন দিকে ঘটবে যেদিকে হলে বাড়তি চাপ মুক্ত হয়। চাপ মুক্ত হওয়ার উপায় মোলের সংখ্যা অর্থাৎ অণুর সংখ্যা কমিয়ে দেওয়া—অণুর সংখ্যা কমা মানেই আয়তন কমা—তাই এক্ষেত্রে বিক্রিয়ার গতি এমন দিকে হয় যেদিকে হলে আয়তন হ্রাস পায়।** যেহেতু সম্মুখ বিক্রিয়ায় আয়তন কমে চাপের হ্রাস ঘটে, তাই এক্ষেত্রে **সম্মুখ বিক্রিয়া ঘটে, ফলে অ্যামোনিয়ার উৎপাদন বাড়ে। চাপ কমলে বিপরীত বিক্রিয়া হয়**—অর্থাৎ NH_3-এর উৎপাদন কমে যায়। বিক্রিয়াটিকে সম্মুখমুখী করে NH_3-এর উৎপাদন বাড়ানোর জন্য বিক্রিয়াটি উচ্চচাপে ঘটানো হয়। পরীক্ষায় দেখা গেছে 200 **বায়ুমণ্ডল চাপ এই বিক্রিয়ার উপযুক্ত।**

(iii) অনুঘটকের প্রভাব ঃ চাপ ও তাপমাত্রাই এই বিক্রিয়ার পক্ষে যথেষ্ট নয়। **বিক্রিয়ার বেগ বাড়ানোর জন্য এবং বিক্রিয়াটিকে তাড়াতাড়ি সাম্য অবস্থায় আনার জন্য অনুঘটক ব্যবহার করা হয়।** এই বিক্রিয়ায় **আয়রন চূর্ণকে অনুঘটকরূপে** ব্যবহার করা হয়। আজকাল Fe_2O_3**-এর সঙ্গে সামান্য** K_2O এবং Al_2O_3 মিশ্রিত করে অনুঘটকরূপে ব্যবহার করা হয়। Fe_2O_3 বিজারিত হয়ে অনুঘটকে পরিণত হয়। আর $K_2O + Al_2O_3$ অনুঘটকের উদ্দীপকরূপে (promoter) কাজ করে। **মলিবডিনাম ধাতুকেও উদ্দীপকরূপে** ব্যবহার করা হয়।

(iv) বিক্রিয়ার জন্য **নাইট্রোজেন ও হাইড্রোজেনের আয়তন অনুপাত** 1ঃ3 হওয়া দরকার।

(v) তাছাড়া **গ্যাস দুটি সম্পূর্ণ বিশুদ্ধ হওয়া প্রয়োজন।** গ্যাস মিশ্রণের মধ্যে ফসফরাস, আর্সেনিক, সালফার, ধূলিকণা ইত্যাদি অশুদ্ধি থাকলে উৎপন্ন অ্যামোনিয়া বিশুদ্ধ হয় না এবং অনুঘটকের গুণ নষ্ট হয়ে যায়।

(vi) উভমুখী বিক্রিয়াটিকে **সম্মুখ দিকে করার জন্য** অ্যামোনিয়ার গাঢ়ত্ব কমানোর প্রয়োজন। তাই NH_3 **উৎপন্ন হওয়ার সঙ্গে সঙ্গে বিক্রিয়া প্রকোষ্ঠে উৎপন্ন NH_3-কে দ্রুত সরিয়ে নেওয়া দরকার।**

[C] পদ্ধতি ঃ (i) কাঁচা মাল প্রস্তুতি ঃ হেবার পদ্ধতিতে কাঁচা মাল হিসাবে **(a)** বিশুদ্ধ হাইড্রোজেন এবং **(b)** নাইট্রোজেন গ্যাস ব্যবহার করা হয়। **নাইট্রোজেন গ্যাস পাওয়া যায় তরল বাতাসের আংশিক পাতন করে।**

যে সব দেশে কম খরচে বিদ্যুৎ পাওয়া যায়, সেখানে অ্যাসিড বা ক্ষার মেশানো জলের তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করে হাইড্রোজেন গ্যাস প্রস্তুত করা হয়।

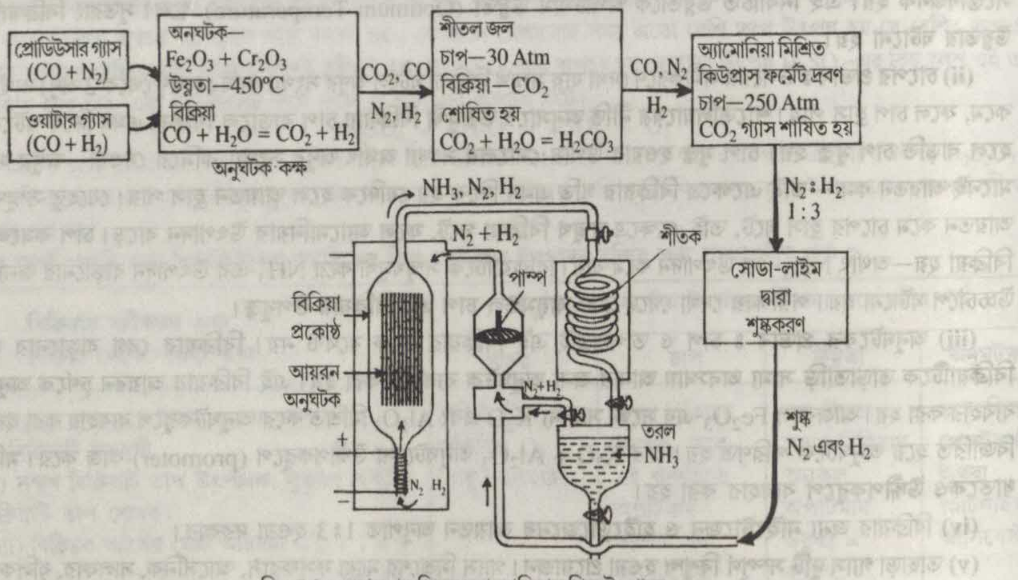
ভারতে বিদ্যুতের খরচ বেশি। তাই ভারতে পরোক্ষভাবে H_2 গ্যাস প্রস্তুত করা হয়। প্রথমে শ্বেততপ্ত কোকের উপর দিয়ে স্টিম চালনা করে ওয়াটার গ্যাস এবং পরে ওই উত্তপ্ত কোকের উপর দিয়ে বায়ুপ্রবাহ চালনা করে প্রোডিউসার গ্যাস তৈরি করা হয়।

$$\underset{\text{শ্বেত তপ্ত}}{C} + \underset{\text{স্টিম}}{H_2O} = \underset{\text{ওয়াটার গ্যাস}}{CO + H_2} \qquad \underset{\text{শ্বেত তপ্ত}}{2C} + \underset{\text{বায়ু}}{(N_2 + O_2)} = \underset{\text{প্রোডিউসার গ্যাস}}{2CO + N_2}$$

ওয়াটার গ্যাস এবং প্রোডিউসার গ্যাস নির্দিষ্ট অনুপাতে মিশিয়ে সেই মিশ্রণকে অতিরিক্ত স্টিমের সঙ্গে মিশিয়ে 450°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত $Fe_2O_3 + Cr_2O_3$ অনুঘটকের উপর দিয়ে চালনা করা হয়। এর ফলে CO জারিত করে CO_2-তে পরিণত হয় ($CO + H_2O = CO_2 + H_2$)। উৎপন্ন CO_2-কে উচ্চ চাপে জলে শোষিত করে দূর করা হয়। উপস্থিত সামান্য CO-কে কিউপ্রাস ফরমেট দ্রবণে শোষিত করা হয়। ফলে বিশুদ্ধ N_2 এবং H_2-এর মিশ্রণ পাওয়া যায়। 1ঃ3 আয়তন অনুপাতে N_2 এবং H_2-এর মিশ্রণ প্রস্তুত করা হয়—এই মিশ্রণকে **সংশ্লেষণী গ্যাস** বলা হয়।

(ii) অ্যামোনিয়ার সংশ্লেষণ ঃ এক আয়তন বিশুদ্ধ নাইট্রোজেনের সঙ্গে তিন আয়তন বিশুদ্ধ হাইড্রোজেন মিশিয়ে এই গ্যাস-মিশ্রণকে পাম্পের সাহায্যে 200 বায়ুমন্ডল চাপে ইস্পাতের তৈরি বিক্রিয়া-প্রকোষ্ঠে পাঠানো হয়। এই কক্ষে লৌহচূর্ণ অনুঘটক ও মলিবডিনাম উদ্দীপক ছড়ানো থাকে, কক্ষটির উষ্ণতা 550°C-ও রাখা থাকে। প্রথমে তড়িতের সাহায্যে 550°C উষ্ণতা সৃষ্টি করে বিক্রিয়াটি আরম্ভ করা হয়। পরে বিক্রিয়া থেকে উৎপন্ন তাপ প্রয়োজনীয় তাপমাত্রা বজায় রাখে। অনুঘটকের সংস্পর্শে নাইট্রোজেন ও হাইড্রোজেনের রাসায়নিক বিক্রিয়ায় অ্যামোনিয়া উৎপন্ন হয়। গ্যাস-মিশ্রণে প্রায় 12% অ্যামোনিয়ায় পরিণত হয়, অবশিষ্ট N_2 এবং H_2 অবিকৃত অবস্থায় থাকে।

● **হেবার-বস্ পদ্ধতিতে অ্যামোনিয়া উৎপাদনের বিভিন্ন ধাপ ঃ**



চিত্র 7.2 ঃ হেবার পদ্ধতিতে অ্যামোনিয়ার শিল্প উৎপাদন

(iii) অ্যামোনিয়ার সংগ্রহ ঃ উচ্চচাপে এই গ্যাস-মিশ্রণকে হিমায়কের মধ্য দিয়ে চালনা করলে অ্যামোনিয়া তরল হয়ে নীচের পাত্রে জমা হয়, অবিকৃত N_2 এবং H_2 মিশ্রণকে পাম্পের সাহায্যে আবার বিক্রিয়া প্রকোষ্ঠে পাঠানো হয়।

● **হেবার পদ্ধতিতে অ্যামোনিয়ার শিল্প প্রস্তুতিতে উৎপাদন বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় শর্ত ঃ**

বিক্রিয়ার সমীকরণ এবং বিক্রিয়া থেকে পাওয়া তথ্য	অ্যামোনিয়ার সর্বোচ্চ উৎপাদনের জন্য প্রয়োজনীয় শর্ত			
	গাঢ়ত্ব	চাপ	উষ্ণতা	অনুঘটক
$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 3NH_3(g)$ + তাপ (i) বিক্রিয়াটি উভমুখী (ii) সম্মুখ বিক্রিয়াটি তাপ উৎপাদক, সুতরাং বিপরীত বিক্রিয়াটি তাপ শোষক। (iii) বিক্রিয়ক গ্যাসের মোট আয়তন = 1 + 3 = 4 আয়তন বিক্রিয়াজাত গ্যাসের আয়তন = 2 আয়তন সুতরাং সম্মুখ বিক্রিয়ায় আয়তনের হ্রাস হয় এবং অণুর সংখ্যার হ্রাস ঘটে।	(i) N_2 এবং H_2-এর গাঢ়ত্ব বৃদ্ধি। (ii) বিক্রিয়া প্রকোষ্ঠ থেকে NH_3 সরিয়ে নিয়ে NH_3-এর গাঢ়ত্বের হ্রাস।	চাপ বাড়ালে সম্মুখ বিক্রিয়া ঘটে, ফলে NH_3-এর উৎপাদন বাড়ে। প্রযুক্ত চাপ = 200 atm.	সম্মুখ বিক্রিয়াটি তাপ উৎপাদক তাই কম উষ্ণতায় সম্মুখ বিক্রিয়া অনুকূল। তবে উষ্ণতা কমালে বিক্রিয়ার হার কমে যায় তাই ব্যবহৃত অপটিমাম উষ্ণতা = 550°C।	আয়রন চূর্ণ অনুঘটক এবং মলিবডিনাম চূর্ণকে উদ্দীপক দ্রব্য রূপে ব্যবহার।

7.3. নাইট্রিক অ্যাসিডের শিল্প উৎপাদন [Large scale production of Nitric Acid]

অস্‌ওয়াল্ড পদ্ধতি (অ্যামোনিয়া থেকে নাইট্রিক অ্যাসিড) ঃ অ্যামোনিয়াকে বাতাসের অক্সিজেন দ্বারা জারিত করে নাইট্রিক অ্যাসিড প্রস্তুত করার সহজ ও সুলভ উপায় আবিষ্কার করেন জার্মান বিজ্ঞানী অস্‌ওয়াল্ড।

[A] নীতি ঃ (i) এই পদ্ধতিতে প্রথমে বিশুদ্ধ NH_3-এর সঙ্গে শুষ্ক বাতাসের অক্সিজেনের বিক্রিয়া দ্বারা অ্যামোনিয়াকে জারিত করে নাইট্রিক অক্সাইডে পরিণত করা হয়।

$$4NH_3 + 5O_2 \text{ (বায়ু)} \rightleftharpoons 4NO + 6H_2O \qquad \Delta H = -90 \text{ kJ mol}^{-1}$$

(ii) উৎপন্ন নাইট্রিক অক্সাইডের সঙ্গে সাধারণ উষ্ণতায় বাতাস মেশালে বাতাসের অক্সিজেন দ্বারা NO জারিত হয়ে বাদামি বর্ণের **নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইডে** পরিণত হয়। $2NO + O_2$ (বায়ু) $\rightleftharpoons 2NO_2$

(iii) এইভাবে উৎপন্ন নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইডের সাথে জল মেশালে নাইট্রিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।

$$3NO_2 (g) + H_2O (g) \rightarrow 2HNO_3 (aq) + NO (g)$$

দেখা যায় উপরের **(i)** নম্বর বিক্রিয়াটি—**(a)** উভমুখী, **(b)** সম্মুখ বিক্রিয়াটি তাপমোচী এবং **(c)** বিক্রিয়ার পর আয়তন বাড়ে ফলে চাপের বৃদ্ধি হয়।

(1) তাপের প্রভাব—বিক্রিয়াটি উভমুখী এবং সম্মুখ বিক্রিয়াটি তাপমোচী বিক্রিয়া। সুতরাং শাতেলিয়ারের নীতি অনুসারে বিক্রিয়ায় উষ্ণতা বাড়ালে বিক্রিয়াটি এমন দিকে ঘটবে যেদিকে ঘটলে বাড়তি তাপ শোষিত হবে। যেহেতু বিপরীত বিক্রিয়াটি তাপগ্রাহী, তাই উষ্ণতা বাড়ালে বিপরীত দিকে বিক্রিয়াটি ঘটতে থাকবে। ফলে নাইট্রিক অক্সাইডের উৎপাদন কমে যাবে।

আবার, এই বিক্রিয়ায় উষ্ণতা কমালে বিক্রিয়াটি এমন দিকে হবে যেদিকে হলে ঘাটতি তাপ পূরণ হয়। যেহেতু সম্মুখ বিক্রিয়াটি তাপমোচী বিক্রিয়া, তাই এক্ষেত্রে সম্মুখ বিক্রিয়াটি ঘটবে, ফলে NO-এর উৎপাদন বাড়বে।

কিন্তু দেখা যায় উষ্ণতা কমালে বিক্রিয়ার বেগ এতো কমে যায় যে শিল্প ক্ষেত্রে তা অচল। তাই বিভিন্ন উষ্ণতায় বিক্রিয়া ঘটিয়ে পরীক্ষা করে দেখা গেছে যে, বিক্রিয়াটিকে মোটামুটি 700°C উষ্ণতায় ঘটালে সম্মুখ বিক্রিয়ার বেগ এবং NO-এর উৎপাদন মোটামুটি ভাল হয়। তাই বিক্রিয়াটিকে 700°C উষ্ণতায় ঘটানো হয়। এই উষ্ণতা হল এই বিক্রিয়ার অপটিমাম উষ্ণতা।

(2) চাপের প্রভাব ঃ সম্মুখ বিক্রিয়ায় চাপ বৃদ্ধি হয়—তাই এক্ষেত্রে চাপ বাড়ালে বিপরীত বিক্রিয়া ঘটে সিস্টেম চাপ মুক্ত হতে চাইবে। এর ফলে নাইট্রিক অক্সাইডের উৎপাদন কমে যাবে। তাই বিক্রিয়াটি মোটামুটি 7-8 বায়ুমন্ডল চাপে ঘটানো হয়।

(3) বিক্রিয়াটি যেন তাড়াতাড়ি সাম্যে পৌঁছায় সেইজন্য **প্ল্যাটিনাম অনুঘটক** ব্যবহার করা হয়। **বর্তমানে প্ল্যাটিনাম-রেডিয়াম অনুঘটক এই বিক্রিয়ায় ব্যবহার করা হয়।**

(4) অ্যামোনিয়া এবং বায়ুর মিশ্রণ বিশুদ্ধ এবং ধূলিমুক্ত হওয়া চাই—তা না হলে মূল্যবান অনুঘটক নষ্ট হয়ে যেতে পারে।

(5) বিক্রিয়া প্রকোষ্ঠে গ্যাস-মিশ্রণকে অতিদ্রুত প্ল্যাটিনাম তারজালির উপর দিয়ে চালনা করা হয়—তা না হলে ওই পরিবেশে উৎপন্ন NO বেশিক্ষণ থাকলে, বিশ্লিষ্ট হয়ে N_2-তে পরিণত হওয়ার সম্ভাবনা থাকে।

$$4NH_3 + 6NO = 5N_2 + 6H_2O$$

[B] পদ্ধতি ঃ

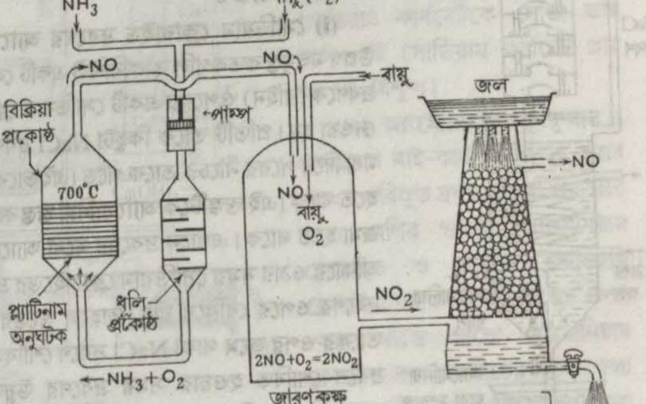
(i) এই পদ্ধতিতে **এক ভাগ আয়তনের শুষ্ক ও বিশুদ্ধ অ্যামোনিয়ার সঙ্গে আট ভাগ আয়তনের শুষ্ক বাতাস** মিশিয়ে পাম্পের সাহায্যে গ্যাস-মিশ্রণটিকে ধূলি-প্রকোষ্ঠের মধ্যে চালিত করে ধূলিমুক্ত করা হয়। তারপর গ্যাস মিশ্রণটিকে বিক্রিয়া-প্রকোষ্ঠে পাঠানো হয়।

(ii) বিক্রিয়া-প্রকোষ্ঠে 700°C—800°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত প্ল্যাটিনাম তারজালি রাখা থাকে। **উত্তপ্ত প্ল্যাটিনাম অনুঘটকের** কাজ করে। গ্যাস-মিশ্রণকে খুব দ্রুত উত্তপ্ত প্ল্যাটিনাম তারজালির উপর দিয়ে চালনা করা হয়, যেন গ্যাস মিশ্রণ ও অনুঘটকের মধ্যে সংস্পর্শ কাল 0·0014 সেকেন্ড হয়। কারণ আস্তে আস্তে গ্যাস চালনা করলে, অর্থাৎ অনুঘটকের সঙ্গে সংস্পর্শকাল দীর্ঘ হলে অ্যামোনিয়া NO-তে পরিণত না হয়ে N_2-তে পরিণত হয়।

$$4NH_3 + 3O_2 = 2N_2 + 6H_2O$$

গ্যাস-মিশ্রণটি অনুঘটকের উপর দিয়ে দ্রুত চালনার ফলে প্রায় 90% অ্যামোনিয়া জারিত হয়ে নাইট্রিক অক্সাইডে পরিণত হয়।

$$4NH_3 + 5O_2 \rightleftharpoons 4NO + 6H_2O$$



চিত্র 7.3 ঃ নাইট্রিক অ্যাসিডের শিল্প-উৎপাদন (অসওয়াল্ড পদ্ধতি)

(iii) উৎপন্ন নাইট্রিক অক্সাইডকে দ্রুত ঠান্ডা করে শীতল অবস্থায় জারণ কক্ষে নিয়ে যাওয়া হয়। এখানে NO-এর সঙ্গে অতিরিক্ত বায়ু মিশিয়ে নাইট্রিক অক্সাইডকে জারিত করে নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইডে পরিণত করা হয়।

$$2NO = O_2 \text{ (বায়ু)} = 2NO_2$$

(iv) নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইডকে পাথরকুচি ভরা একটি স্তম্ভের নীচ থেকে উপরের দিকে চালনা করা হয় এবং উপর থেকে নীচের দিকে জলের ধারা ফেলা হয়। জলে NO_2 দ্রবীভূত হয়ে HNO_3 উৎপন্ন করে।

$$3NO_2 + H_2O = 2HNO_3 + NO\uparrow$$

(v) জল মেশানো থাকে বলে এই অ্যাসিড লঘু। লঘু অ্যাসিডকে 120°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত করে ঘন করা হয়, এই ঘন অ্যাসিডকে গাঢ় H_2SO_4-এর সঙ্গে মিশিয়ে পাতিত করলে 98% HNO_3 পাওয়া যায়।

7.4. সোডিয়াম কার্বনেটের পণ্যোৎপাদন ঃ সল্‌ভে পদ্ধতি [Large scale production of Na_2CO_3—Solvey process]

সল্‌ভে পদ্ধতিতে সহজে এবং সুলভে সোডিয়াম কার্বনেট প্রস্তুত করা হয়। কাঁচামাল হিসাবে **(a) সোডিয়াম ক্লোরাইড দ্রবণ বা ব্রাইন, (b) অ্যামোনিয়া ও (c) চুনাপাথর** ব্যবহৃত হয়।

[A] নীতি ঃ সোডিয়াম ক্লোরাইড দ্রবণকে প্রথমে অ্যামোনিয়া দ্বারা সম্পৃক্ত করে ওই সম্পৃক্ত দ্রবণের ভিতর দিয়ে কার্বন ডাইঅক্সাইড গ্যাস চালনা করা হয়। এই সময় উষ্ণতা 30°C—35°C-এর মধ্যে রাখা হয়। এর ফলে—

(i) অ্যামোনিয়ার সঙ্গে CO_2-এর বিক্রিয়ায় **অ্যামোনিয়াম বাই-কার্বনেট** উৎপন্ন হয়।

$$NH_3 + H_2O + CO_2 = NH_4HCO_3$$

(ii) এইভাবে উৎপন্ন অ্যামোনিয়াম বাই-কার্বনেট ও সোডিয়াম ক্লোরাইডের বিক্রিয়ায় **সোডিয়াম বাই-কার্বনেট** এবং **অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড** উৎপন্ন হয়। 30°C—35°C তাপমাত্রায় কম দ্রাব্য সোডিয়াম বাই-কার্বনেট অধঃক্ষিপ্ত হয়। বিক্রিয়াটি উভমুখী বলে সোডিয়াম ক্লোরাইডের মাত্র 2/3 অংশ সোডিয়াম বাই-কার্বনেটে পরিণত হয়।

$$NH_4HCO_3 + NaCl \rightleftharpoons NaHCO_3\downarrow + NH_4Cl$$

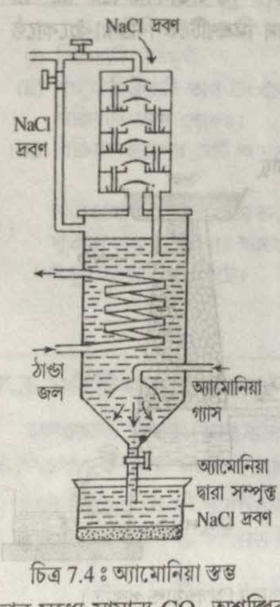
(iii) সোডিয়াম বাই-কার্বনেট সংগ্রহ করে উত্তপ্ত করলে 250°C—300°C উষ্ণতায় সোডিয়াম কার্বনেট পাওয়া যায়।

$$2NaHCO_3 = Na_2CO_3 + CO_2\uparrow + H_2O$$

(iv) উপজাত দ্রব্য অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইডের সঙ্গে চুন যোগ করে অ্যামোনিয়া উদ্ধার করে আবার ব্যবহার করা হয়।

$$2NH_4Cl + CaO = 2NH_3\uparrow + CaCl_2 + H_2O$$

(v) চুন পুড়িয়ে কার্বন ডাইঅক্সাইড প্রস্তুত করা হয়। $CaCO_3 = CaO + CO_2\uparrow$



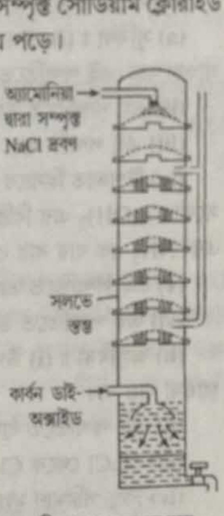
চিত্র 7.4 ঃ অ্যামোনিয়া স্তম্ভ

[B] পদ্ধতি ঃ

(i) সোডিয়াম ক্লোরাইড দ্রবণের অ্যামোনিয়া সম্পৃক্তি ঃ ঢাকনা লাগানো ছিদ্রপথ এবং উল্লম্ব নলযুক্ত কতকগুলি তাকবিশিষ্ট একটি লোহার স্তম্ভের ওপর থেকে সোডিয়াম ক্লোরাইডের দ্রবণকে (ব্রাইন) ওপরের একটি সোডিয়াম ক্লোরাইড দ্রবণপূর্ণ ট্যাঙ্ক থেকে নীচের দিকে পড়তে দেওয়া হয়। প্রতিটি তাকে কিছুটা NaCl দ্রবণ জমে থাকে এবং অতিরিক্ত দ্রবণটি উল্লম্ব নলের মধ্য দিয়ে পরের নীচের তাকে পড়ে। এইভাবে এক তাক থেকে অন্য তাকে NaCl দ্রবণ প্রবাহিত হতে থাকে। এই স্তম্ভটিকে **অ্যামোনিয়া স্তম্ভ** বলা হয়। স্তম্ভের নীচের একটি ট্যাঙ্কে NaCl দ্রবণটি জমা হতে থাকে। এখানে দ্রবণের মধ্যে অ্যামোনিয়া গ্যাস মেশানো হয়। অ্যামোনিয়া বুদবুদের আকারে ওঠার সময় সোডিয়াম ক্লোরাইডের দ্রবণে দ্রবীভূত হয়। যদি কিছু গ্যাস দ্রবীভূত না হয়ে দ্রবণের ওপরে বেরিয়ে যায়, তাহলে স্তম্ভের সচ্ছিদ্র তাকগুলির ভেতর দিয়ে যাওয়ার সময়ে তাকের ওপর জমে থাকা NaCl দ্রবণে শোষিত হয়ে যায়। অ্যামোনিয়া, সোডিয়াম ক্লোরাইডের দ্রবণে শোষিত হওয়ার সময় দ্রবণের উষ্ণতা বেড়ে যায়। উষ্ণতা বেড়ে গেলে শোষিত অ্যামোনিয়ার পরিমাণ কমে যেতে পারে, সেজন্য ট্যাঙ্কের ভেতরে নলের কুণ্ডলী লাগিয়ে এবং ওর মধ্য দিয়ে ঠান্ডা জল প্রবাহিত করে দ্রবণের উষ্ণতা 30°C—40°C-এর মধ্যে রাখা হয়। ওপরের লোহার স্তম্ভকেও ঠান্ডা রাখার ব্যবস্থা থাকে। যে অ্যামোনিয়া গ্যাস প্রবাহিত করা হয়, তার মধ্যে সামান্য CO_2 অশুদ্ধিরূপে থাকে। এর ফলে সোডিয়াম ক্লোরাইড দ্রবণের সঙ্গে যে ক্যালশিয়াম, ম্যাগনেশিয়াম এবং

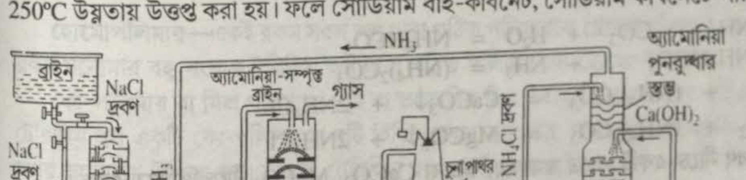
আয়রনের লবণ অশুদ্ধি হিসাবে থাকে, সেগুলি অদ্রাব্য কার্বনেট লবণে পরিণত হয়। অ্যামোনিয়া দ্বারা সম্পৃক্ত সোডিয়াম ক্লোরাইড দ্রবণকে ট্যাঙ্কের নীচের একটি চৌবাচ্চার মধ্যে নেওয়া হয়। এখানে অদ্রাব্য লবণগুলি নীচে থিতিয়ে পড়ে।

(ii) অ্যামোনিয়া দ্বারা সম্পৃক্ত NaCl দ্রবণের সঙ্গে কার্বন ডাইঅক্সাইডের বিক্রিয়া ঃ চৌবাচ্চার ওপরের অংশের পরিষ্কার অ্যামোনিয়া-সম্পৃক্ত সোডিয়াম ক্লোরাইডের দ্রবণকে পাম্প করে সল্‌ভে স্তম্ভে নিয়ে যাওয়া হয় এবং ওপর থেকে নীচের দিকে ধীরে ধীরে ফেলা হয়। এই স্তম্ভের ভেতরে আড়াআড়িভাবে অনেকগুলি লোহার প্লেট বসানো থাকে। প্লেটগুলির মাঝখানে ছিদ্রযুক্ত রিং থাকে। এই ছিদ্রগুলির ওপর ব্যাঙের ছাতার মতো গোলাকার সচ্ছিদ্র ছোটো ছোটো ঢাকনা লাগানো থাকে। ওপর থেকে অ্যামোনিয়া-সম্পৃক্ত সোডিয়াম ক্লোরাইড দ্রবণ পর পর এই ঢাকনাগুলির ওপর পড়ে। তারপর ছিদ্রের ভেতর দিয়ে পর পর অন্য প্লেটগুলির ঢাকনার ওপর পড়তে থাকে। এইভাবে অ্যামোনিয়া সম্পৃক্ত NaCl দ্রবণকে ওপর থেকে ফেলা হয় এবং স্তম্ভটির নীচের অংশটি দ্রবণ দ্বারা ভর্তি রাখা হয়। চাপের সাহায্যে স্তম্ভটির নীচ থেকে কার্বন ডাইঅক্সাইড গ্যাস ওপরের দিকে চালনা করা হয়। এইভাবে বিপরীতমুখী প্রবাহের ফলে অ্যামোনিয়া-সম্পৃক্ত NaCl দ্রবণ ও CO_2 গ্যাসের মধ্যে রাসায়নিক বিক্রিয়া সম্পূর্ণ হয়। বিক্রিয়ার ফলে সোডিয়াম বাই-কার্বনেট ও অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড উৎপন্ন হয়। এই বিক্রিয়াটিকে তাপ উৎপন্ন হয়, যার ফলে উৎপন্ন $NaHCO_3$-এর দ্রাব্যতা বেড়ে যায়। এইজন্য স্তম্ভের নীচে জমে থাকা দ্রবণের মধ্যে নলের কুণ্ডলীর মাধ্যমে ঠান্ডা জল প্রবাহিত করে দ্রবণটির এবং স্তম্ভটির উষ্ণতা 30°C—35°C-এর মধ্যে রাখা হয়। এই উষ্ণতায় সোডিয়াম বাই-কার্বনেটের দ্রাব্যতা অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইডের চেয়ে কম বলে, সোডিয়াম বাই-কার্বনেট ছোটো ছোটো স্ফটিকের আকারে কেলাসিত হয়ে দ্রবণে প্রলম্বিত থাকে। সোডিয়াম বাই-কার্বনেট কেলাস সমেত অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড দ্রবণ সল্‌ভে স্তম্ভের নীচে একটি নির্গম নল দিয়ে বেরিয়ে আসে। অনুপ্রেষ পরিস্রাবণ করে সোডিয়াম বাই-কার্বনেট পৃথক করা হয়। সল্‌ভে স্তম্ভে যে কার্বন ডাইঅক্সাইড পাঠানো হয়, তা চুনের ভাঁটিতে চুনাপাথর পুড়িয়ে উৎপন্ন করা হয়। এর ফলে যে পাথরে চুন (CaO) পাওয়া যায়, তাকে অ্যামোনিয়াম পুনরুদ্ধারের কাজে ব্যবহার হয়।



চিত্র 7.5 ঃ সল্‌ভে স্তম্ভ

(iii) সোডিয়াম বাই-কার্বনেটের বিয়োজন ঃ এইভাবে উৎপন্ন সোডিয়াম বাই-কার্বনেটকে সংগ্রহ করে ঘূর্ণ-চুল্লির মধ্যে 250°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত করা হয়। ফলে সোডিয়াম বাই-কার্বনেট, সোডিয়াম কার্বনেটে পরিণত হয়। উৎপন্ন কার্বন ডাইঅক্সাইডকে সল্‌ভে স্তম্ভে পাঠানো হয়। ঘূর্ণ-চুল্লি থেকে সোডিয়াম কার্বনেট বের করে নেওয়া হয়। এইভাবে উৎপন্ন অনার্দ্র সোডিয়াম কার্বনেটকে **সোডা ভস্ম** বলে। এই সোডিয়াম কার্বনেট প্রায় 99·5% বিশুদ্ধ।



চিত্র 7.6 ঃ সল্‌ভে পদ্ধতিতে Na_2CO_3 উৎপাদন

(iv) অ্যামোনিয়ার পুনরুদ্ধার ঃ সোডিয়াম বাই-কার্বনেট পৃথক করার পর যে পরিস্রুত দ্রবণ পাওয়া যায়, তার মধ্যে বেশির ভাগই **অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড** ও সামান্য **সোডিয়াম ক্লোরাইড** থাকে। একটি স্তম্ভের ওপর থেকে আস্তে আস্তে অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড দ্রবণকে নীচের দিকে ফেলা হয়, আর নীচ থেকে স্টিম চালনা করা হয়। স্তম্ভের মাঝের জায়গা থেকে একটি নলের সাহায্যে জলের সঙ্গে **কলিচুন** মিশিয়ে প্রবেশ করানো হয়। স্টিমের তাপে কলিচুনের সঙ্গে অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইডের বিক্রিয়ায় উৎপন্ন **অ্যামোনিয়া নির্গম নল** দিয়ে বেরিয়ে আসে। **এই অ্যামোনিয়াকে আবার অ্যামোনিয়া স্তম্ভে, সোডিয়াম ক্লোরাইড দ্রবণের মধ্যে চালনা করা হয়।**

●সল্‌ভে পদ্ধতির সুবিধা ও অসুবিধা ঃ

(a) সুবিধা ঃ (i) সাধারণ লবণ এবং চুনাপাথর কাঁচামাল হিসাবে ব্যবহৃত হয়—এই দুটি পদার্থ সস্তা এবং প্রকৃতির মধ্যে প্রচুর পাওয়া যায়। এই পদ্ধতিতে H_2SO_4-এর প্রয়োজন হয় না। সুতরাং এই পদ্ধতিতে Na_2CO_3-এর উৎপাদন খরচ অনেক কমে যায়।

(ii) এই পদ্ধতিতে উৎপাদন ক্ষমতা বেশি এবং প্রক্রিয়াটি অবিরামভাবে চলতে থাকে।

(iii) এই পদ্ধতি দ্বারা উৎপাদিত সোডিয়াম কার্বনেট প্রায় 99·5% বিশুদ্ধ।

(iv) উপজাত হিসাবে CaO, NH_4Cl এবং CO_2 পাওয়া যায়। CO_2-কে সল্‌ভে টাওয়ারে ব্যবহার করা হয়। NH_4Cl-এর সঙ্গে $Ca(OH)_2$-এর বিক্রিয়ায় NH_3 উৎপন্ন করা হয় এবং অ্যামোনিয়া টাওয়ারে পাঠানো হয়। এইভাবে পুনরুদ্ধার করা CO_2 এবং NH_3-কে বার বার ব্যবহার করা যায়।

(v) এই পদ্ধতিতে তাপের প্রয়োজন হয় না বলে জ্বালানি খরচ নেই।

(vi) এই পদ্ধতিতে উৎপন্ন বাই-কার্বনেট, বেকিং পাউডার প্রস্তুতিতে এবং ওষুধরূপে ব্যবহৃত হয়।

(b) অসুবিধা ঃ (i) উপজাত পদার্থরূপে $CaCl_2$ পাওয়া যায় যার বাণিজ্যিক বিশেষ ব্যবহার নেই। সুতরাং উপজাত ক্লোরিন পাওয়া যায় না।

(ii) এই পদ্ধতিতে ব্যবহৃত NaCl-এর 1/3 অংশ অবিকৃত অবস্থায় পাওয়া যায়, ফলে নষ্ট হয়।

(iii) NaCl থেকে Cl_2 পাওয়া যায় না বলে নষ্ট হয়।

(iv) কিছু পরিমাণ মূল্যবান অ্যামোনিয়াও নষ্ট হয়।

7.5. সোডিয়াম বাই-কার্বনেট [Sodium bi-carbonate ($NaHCO_3$)]

(a) সোডিয়াম ক্লোরাইড থেকে সল্‌ভে পদ্ধতিতে সোডিয়াম বাই-কার্বনেটের পণ্যোৎপাদন ঃ

(i) অ্যামোনিয়া টাওয়ারে সোডিয়াম ক্লোরাইড দ্রবণের ভেতর দিয়ে NH_3 গ্যাস চালনা করে, দ্রবণটিকে অ্যামোনিয়া দ্বারা সম্পৃক্ত করা হয়। ব্রাইনে (NaCl)NH_3 দ্রবীভূত হওয়ার সময় তাপ উৎপন্ন হয়, তাই ব্রাইনের মধ্যে ডুবানো একটি কুণ্ডলাকৃতি নলের মধ্য দিয়ে ঠান্ডা জল প্রবাহিত করে দ্রবণের উষ্ণতা 30°C—35°C-এ রাখা হয়। যে NH_3 গ্যাস ব্রাইনের মধ্যে পাঠানো হয় তার মধ্যে সামান্য CO_2 মেশানো থাকে। ফলে ব্রাইনের মধ্যে দ্রবীভূত Ca বা Mg-এর লবণ CO_2-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় অদ্রাব্য কার্বনেট লবণরূপে অধঃক্ষিপ্ত হয়।

$$NH_3 + CO_2 + H_2O = NH_4HCO_3$$
$$NH_4HCO_3 + NH_3 = (NH_4)_2CO_3$$
$$CaCl_2 + (NH_4)_2CO_3 = CaCO_3\downarrow + 2NH_4Cl$$
$$MgCl_2 + (NH_4)_2CO_3 = MgCO_3\downarrow + 2NH_4Cl$$

অ্যামোনিয়া দ্বারা সম্পৃক্ত NaCl দ্রবণ নীচে একটি পাত্রে জমা হয়, অদ্রাব্য $CaCO_3$, $MgCO_3$ নীচে থিতিয়ে পড়ে।

(ii) এইভাবে প্রাপ্ত অ্যামোনিয়া দ্বারা সম্পৃক্ত NaCl দ্রবণকে সল্‌ভে টাওয়ারে ওপর থেকে নীচের দিকে ধীরে ধীরে চালনা করা হয় এবং স্তম্ভের নীচ থেকে CO_2 গ্যাস চালনা করা হয়। এর ফলে অ্যামোনিয়া দ্বারা সম্পৃক্ত NaCl দ্রবণ CO_2-এর ঘনিষ্ঠ সংস্পর্শে আসে। এর ফলে রাসায়নিক বিক্রিয়া ঘটে প্রথমে **অ্যামোনিয়াম বাই-কার্বনেট NH_4HCO_3** উৎপন্ন হয়।

$$NH_3 + CO_2 + H_2O = NH_4HCO_3$$

(iii) উৎপন্ন অ্যামোনিয়াম বাই-কার্বনেট NaCl-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় **সোডিয়াম বাই-কার্বনেট** এবং **অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড** উৎপন্ন করে।

$$NH_4HCO_3 + NaCl = NaHCO_3\downarrow + NH_4Cl$$

বিক্রিয়াটি তাপ উৎপাদক—উৎপন্ন তাপ $NaHCO_3$-এর দ্রাব্যতা বাড়ায়। তাই একটি কুণ্ডলাকৃতি নলের মধ্য দিয়ে ঠান্ডা জলের প্রবাহ চালনা করে স্তম্ভের উষ্ণতা 30°C—35°C-এ রাখা হয়। এর ফলে স্বল্প দ্রাব্য $NaHCO_3$ অধঃক্ষিপ্ত হয়, NH_4Cl দ্রবণে থাকে। অধঃক্ষিপ্ত $NaHCO_3$ দ্রবণের সঙ্গে স্তম্ভের নীচে জমা হয়। অনুপ্রেষ ফিলটারের সাহায্যে $NaHCO_3$-কে পৃথক করে শুষ্ক করা হয়।

(iv) বিশুদ্ধিকরণ ঃ এইভাবে প্রাপ্ত সোডিয়াম বাই-কার্বনেটের সঙ্গে NH_3, NaCl, CO_2 প্রভৃতি অশুদ্ধি থাকে। উৎপন্ন $NaHCO_3$-কে প্রথমে ঠান্ডা জলে ধৌত করে, ওর মধ্যস্থ NaCl এবং NH_3 দূর করা হয়। এরপর একে গরম জলে দ্রবীভূত করে দ্রবণের মধ্যে কুণ্ডলাকৃতি নলের মধ্য দিয়ে স্টিম চালনা করে উত্তপ্ত করা হয়। এর ফলে $NaHCO_3$-এর মধ্যস্থ NH_3 এবং CO_2 সম্পূর্ণভাবে দূর হয়।

এইবার দ্রবণটির মধ্যে আবার CO_2 গ্যাস চালনা করলে বিশুদ্ধ $NaHCO_3$ অধঃক্ষিপ্ত হয়। ফিলটার করে একে সংগ্রহ করার পর বায়ুর মধ্যে শুষ্ক করলে বিশুদ্ধ $NaHCO_3$ পাওয়া যায়।

(b) সোডিয়াম কার্বনেট থেকে সোডিয়াম বাই-কার্বনেট প্রস্তুতি ঃ সোডিয়াম কার্বনেটের সম্পৃক্ত দ্রবণের মধ্য দিয়ে অতিরিক্ত CO_2 গ্যাস চালনা করলে কম দ্রাব্য সোডিয়াম বাই-কার্বনেট অধঃক্ষিপ্ত হয়। একে সংগ্রহ করে ধৌত করার পর তাপ প্রয়োগ না করে শুষ্ক করা হয়। $Na_2CO_3 + CO_2 + H_2O = 2NaHCO_3\downarrow$

● পলিমার, পলিথিন, নাইলন, রাবার ●

বিজ্ঞান ও প্রযুক্তিবিদ্যার উন্নতির সাথে সাথে মানুষের জীবনে স্বাচ্ছন্দ্য আনার জন্য রসায়ন বিজ্ঞানীরা নতুন নতুন সৃষ্টির কাজে ব্রতী আছেন। এরই ফলস্বরূপ রসায়ন বিজ্ঞান আজ মানুষকে উপহার দিয়েছে প্লাস্টিক, সিন্থেটিক তন্তু, সিন্থেটিক রবার প্রভৃতি পলিমার। বর্তমান সভ্যতায় বিভিন্ন ক্ষেত্রে পলিমারের বহুল ব্যবহারের কথা বলে শেষ করা যায় না—গৃহস্থালির বিভিন্ন রকম সামগ্রী, মোটরগাড়ির বিভিন্ন অংশ, ঘরের শৌখিন আসবাবপত্র, কৃত্রিম বস্ত্র থেকে শুরু করে মহাকাশযানের বিভিন্ন অংশ প্রস্তুতি এবং অস্ত্র-চিকিৎসায় ব্যবহৃত বিভিন্ন প্রকার যন্ত্র প্রস্তুতিতে বর্তমানে পলিমারের ব্যবহার অপরিহার্য হয়ে উঠেছে।

7.6. পলিমার এবং মনোমার [Polymers and Monomers]

বহু-সংখ্যক সরল অণুর সংযোগ দ্বারা গঠিত অতি উচ্চ আণবিক ভরযুক্ত যৌগকে **পলিমার** বলা হয়।

যে সরল অণুর সংযোগ দ্বারা পলিমার গঠিত হয়, সেই সরল অণুগুলিকে **মনোমার** বলা হয়।

যে প্রক্রিয়া দ্বারা সরল অণুগুলি (মনোমার) পরস্পর সংযোজিত হয়ে পলিমার গঠন করে, সেই প্রক্রিয়াকে **পলিমারিজেশন** (Polymerisation) বলে।

যেমন, পলিথিলিন বা পলিথিন হল একটি পলিমার যা পলিমারিজেশন প্রক্রিয়া দ্বারা বহু-সংখ্যক ইথিলিন বা ইথিন অণুর (মনোমার) সংযোজনে গঠিত হয়।

$$\underset{\text{ইথিলিন (মনোমার)}}{n\,[H_2C=CH_2]} \xrightarrow{\text{পলিমারিজেশন}} \underset{\text{পলিথিন (পলিমার)}}{[-CH_2-CH_2-]_n}$$

হোমোপলিমার—একই রকম সরল অণু দ্বারা গঠিত পলিমারকে **হোমোপলিমার** (Homo polymer) বলে। যেমন, সব একই রকম মনোমার বহু সংখ্যক ইথিলিন অণু দ্বারা গঠিত পলিথিন হল হোমোপলিমার।

কো-পলিমার বা মিশ্র পলিমার—দুই বা ততোধিক ভিন্ন প্রকার মনোমার দ্বারা গঠিত পলিমারকে কো-পলিমার বলে। যেমন, টেরিলিন হল একটি কো-পলিমার যা দুটি বিভিন্ন রকম মনোমার, যা বহুসংখ্যক ইথিলিন গ্লাইকল এবং টেরিথ্যালিক অ্যাসিডের অণুর সংযোগে উৎপন্ন হয়। সুতরাং টেরিলিন হল একটি **কো-পলিমার**।

● পলিমারের শ্রেণি-বিভাগ ঃ

[A] উৎসের ওপর ভিত্তি করে শ্রেণি বিভাগ—উৎস অনুযায়ী পলিমারকে দুটি শ্রেণিতে ভাগ করা যায়—**(1) প্রাকৃতিক পলিমার** (Natural polymers)। **(2) সিন্থেটিক পলিমার** (Synthetic polymers)।

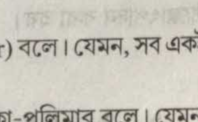
(1) প্রাকৃতিক পলিমার ঃ প্রকৃতি থেকে (উদ্ভিদ ও প্রাণী) যে পলিমার পাওয়া যায়, তাকে প্রাকৃতিক পলিমার বলে। যেমন, স্টার্চ, প্রাকৃতিক রবার ইত্যাদি।

(2) সিন্থেটিক পলিমার ঃ যে পলিমারগুলি পরীক্ষাগারে প্রস্তুত করা হয় সেই পলিমারকে সিন্থেটিক পলিমার বলে। যেমন, পলিথিন, নাইলন, সিন্থেটিক রবার ইত্যাদি।

[B] গঠনের ওপর ভিত্তি করে শ্রেণিবিভাগ ঃ

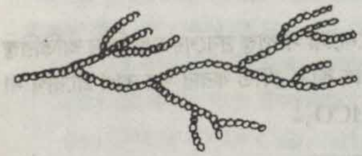
(1) সরলরৈখিক শৃঙ্খল পলিমার, (2) শাখাযুক্ত শৃঙ্খল পলিমার এবং **(3) পার্শ্ব-বন্ধন দ্বারা যুক্ত শৃঙ্খল পলিমার।**

(1) সরলরৈখিক শৃঙ্খল পলিমার ঃ এই জাতীয় পলিমারে মনোমার এককগুলি সরলরৈখিক শৃঙ্খল গঠন দ্বারা পরস্পরের সাথে যুক্ত থাকে। এই মনোমার এককগুলি ঘন সন্নিবিষ্ট থাকায় এই জাতীয় পলিমারের ঘনত্ব বেশি হয়। এদের গলনাঙ্ক বেশি। পলিথিন, নাইলন হল এই জাতীয় পলিমারের উদাহরণ।



চিত্র 7.7 ঃ সরলরৈখিক শৃঙ্খল পলিমার

(2) শাখা শৃঙ্খলযুক্ত পলিমার ঃ মনোমার এককগুলি পরস্পরের সাথে যুক্ত হয়ে যে শৃঙ্খল গঠন করে তাতে অনেক শাখা শৃঙ্খল থাকে। এই শাখা শৃঙ্খলগুলির দৈর্ঘ্য বিভিন্ন হয়। শাখা শৃঙ্খলযুক্ত পলিমারগুলি বিভিন্ন দৈর্ঘ্যের পার্শ্ব শৃঙ্খল বিশিষ্ট হওয়ার জন্য এদের তঞ্চন ক্ষমতা খুবই কম হয় এবং ঘনত্ব, গলনাঙ্ক ও স্ফুটনাঙ্ক সরলরৈখিক শৃঙ্খল পলিমারের চেয়ে কম হয়। উদাহরণ হল— কম ঘনত্বের পলিথিন, গ্লাইকোজেন, স্টার্চ ইত্যাদি।



চিত্র 7.8 ঃ শাখাশৃঙ্খলযুক্ত পলিমার

(3) পার্শ্ব-বন্ধন দ্বারা যুক্ত শৃঙ্খল পলিমার ঃ এই জাতীয় পলিমারে মনোমার এককগুলি পরস্পরের সাথে পাশাপাশি যুক্ত থাকে, যার ফলে ত্রিমাত্রিক গঠন পায়। এই জাতীয় পলিমার সাধারণত কঠিন, শক্ত এবং ভঙ্গুর হয়।



চিত্র 7.9 ঃ পার্শ্ববন্ধন যুক্ত পলিমার

● **প্রস্তুত প্রণালীর উপর ভিত্তি করে শ্রেণিবিভাগ ঃ**

(1) যুক্ত পলিমার (Addition polymer), **(2) কনডেনসেশন পলিমার** (Condensation polymer)।

(1) যুক্ত পলিমার ঃ মনোমার এককের সবগুলি সরাসরি যুক্ত হয়ে যে পলিমার গঠন করে তাকে যুক্ত পলিমার বলে। যেমন, পলিথিন, পলিপ্রপিন ইত্যাদি।

(2) কনডেনসেশন পলিমার ঃ দুই বা তার বেশি বিভিন্ন জাতীয় মনোমার পরস্পর যুক্ত হয়ে এই জাতীয় পলিমার গঠন করে। এই পলিমার গঠনের সময় সরল অণু বেরিয়ে যায়।

$$n\,[H_2N{-}(CH_2)_6{-}NH_2] + n\,[HOOC{-}(CH_2)_4{-}COOH] \xrightarrow{-n\ H_2O} [{-}NH{-}(CH_2)_6{-}NH{-}\overset{O}{\overset{\|}{C}}{-}(CH_2)_4{-}\overset{O}{\overset{\|}{C}}{-}]_n$$

7.7. পলিথিন বা পলিইথিলিন [Polythene or Polyethelyne]

(1) নিম্ন ঘনত্বের পলিথিন (Low density polythene) ঃ এটি হল ইথিন বা ইথিলিনের পলিমার। বিশুদ্ধ ইথিলিনকে 192°C থেকে 212°C উষ্ণতায় এবং (1500—2000) atm চাপে (0·03—0·1)% অক্সিজেনের উপস্থিতিতে বিক্রিয়া ঘটিয়ে পলিথিনের শিল্পোৎপাদন করা হয়।

$$\underset{\text{ইথিন}}{n\,[H_2C=CH_2]} \xrightarrow[\text{উচ্চ চাপ}]{192^\circ C-212^\circ C} \underset{\text{পলিথিন}}{[{-}H_2C{-}CH_2{-}]_n}$$

এই জাতীয় পলিথিনের অতিকায় অণুগুলি বহসংখ্যক পার্শ্বশৃঙ্খল বিশিষ্ট হয়, তাই শাখা যুক্ত হওয়ার জন্য অণুগুলি পরস্পরের সঙ্গে ঘনসন্নিবিষ্ট হতে পারে না, তাই এই জাতীয় পলিথিনে ঘনত্ব কম হয় প্রায় 0·9 g/cm^3, গলনাঙ্কও কম হয় 111°C। এই জাতীয় পলিথিনের তঞ্চন ক্ষমতা (tensile strength) মাঝামাঝি মানের হয়।

এই জাতীয় পলিথিন সাদা এবং অর্ধস্বচ্ছ—খুব শক্ত হয়।

● **ব্যবহার ঃ (i)** এর প্রধান ব্যবহার হল বস্ত্র প্যাক করার জন্য এর পাতলা ফিল্ম ব্যবহার করা হয়। এছাড়া পাইপ প্রস্তুতিতে, জলাধার, ল্যাবোরেটরির বিভিন্ন যন্ত্রপাতি, বোতল, বালতি, খেলনা এবং ছাঁচে তৈরি করা যায় এমন অনেক বস্তু এই জাতীয় পলিথিন দিয়ে তৈরি।

(ii) উচ্চ ঘনত্বের পলিথিন (High density polythene) ঃ বর্তমানে এই পলিথিনের ব্যবহার প্রচুর। 6–7 atm চাপে, 60°C—80°C উষ্ণতায় এবং অনুঘটক **রূপে ট্রাই-মিথাইল, অ্যালুমিনিয়াম এবং টাইটেনিয়াম টেট্রাক্লোরাইডকে** [জিগলার নাটা (Zeigler-Natta) **অনুঘটক** নামে পরিচিত] ব্যবহার করে উচ্চ ঘনত্ব পলিথিন পাওয়া যায়।

$$\underset{\text{ইথিন}}{n\,[H_2C=CH_2]} \xrightarrow[\text{জিগলার নাটা অনুঘটক}]{(60^\circ-80^\circ C),\ 6-7\ atm} \underset{\text{উচ্চ ঘনত্ব পলিথিন}}{[{-}H_2C{-}CH_2{-}]n}$$

এই পলিমারের গঠন সরলরৈখিক শৃঙ্খলবিশিষ্ট হওয়ায় অণুগুলি পরস্পরের সঙ্গে ঘনসন্নিবিষ্ট হতে পারে—তাই এই পলিথিনের ঘনত্ব বেশি (প্রায় 0·91 g/cm^3), এর গলনাঙ্কও বেশি (130°C)। এই জাতীয় পলিথিন বেশ কঠিন এবং শক্ত। কম ঘনত্বের পলিথিনের চেয়ে এর তঞ্চন ক্ষমতা বেশি।

ব্যবহার ঃ বালতি, বাথটাব ইত্যাদি প্রস্তুতিতে, গৃহস্থালির বিভিন্ন রকম দ্রব্য এবং পাইপ প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত হয়।

7.8. নাইলন 6, 6 [Nylon 6, 6]

নাইলন 6, 6 হল সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ একটি **পলি-অ্যামাইড। এর মধ্যে অ্যামাইড** $\left[-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-\overset{\overset{H}{|}}{N}-\right]$ সংযোগ বর্তমান। নাইলন 6, 6, হল অ্যাডিপিক অ্যাসিড (1, 6-হেক্সেন-ডাইওয়িক অ্যাসিড) একক এবং হেক্সা-মিথিলিন-ডাই অ্যামিন (1, 6-ডাই অ্যামিনো হেক্সেন) একক দ্বারা গঠিত পলিমার। 260°C উষ্ণতায় N_2 গ্যাসের আবহাওয়ায় অ্যাডিপিক অ্যাসিডকে, হেক্সামিথিলিন ডাই অ্যামিনের সঙ্গো উত্তপ্ত করে নাইলন 6, 6 পলিমারটি পাওয়া যায়।

$$\underset{\text{হেক্সামিথিলিন-ডাই অ্যামিন}}{n\,[H_2N-(CH_2)_6-NH_2]} + \underset{\text{1, 6-হেক্সেন-ডাইওয়িক অ্যাসিড}}{n\,[HO-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-(CH_2)_4-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OH]} \xrightarrow[\text{তাপ}]{250^\circ C}$$

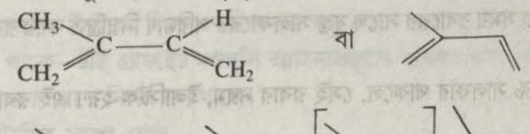
$$\underset{\text{নাইলন 6, 6.}}{[-NH-(CH_2)_6-NH-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-(CH_2)_4-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-]_n} + 2nH_2O$$

নাইলন 6, 6 (Nylon—6-6)-কে চাদরে পরিণত করা যায় অথবা সুতোয় পরিণত করা যায়। নাইলন সুতোর তঞ্চন ক্ষমতা বেশি এবং ঘর্ষণরোধী, কিছুটা স্থিতিস্থাপক প্রকৃতির।

ব্যবহার ঃ ব্রাশ তৈরিতে, কার্পেট শিল্পে এবং বস্ত্রশিল্পে সুতো রূপে, ইলাস্টিক গেঞ্জি ও মোজা প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত হয়।

7.9. প্রাকৃতিক উৎস থেকে রবার—ভালকানইজেশন [Rubber from natural source—vulcanisation]

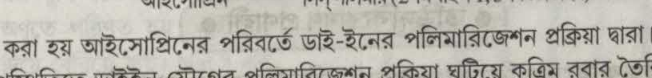
রবার গাছ (*Hevea brasiliensis*) থেকে রবার পাওয়া যায়। রবার গাছের ছাল কাটলে সাদা রঙের চট্‌চটে একটি তরল গাছ থেকে চুঁইয়ে পড়তে থাকে। একে **ল্যাটেক্স** (latex) বলা হয়। এটি হল জলে প্রলম্বিত অবস্থায় থাকা রবারের কণার সমষ্টি। প্রাকৃতিক রবার হল 2-মিথাইল-1, 3-বিউটাডাইন (আসোপ্রিন) ল্যাটেক্সের মধ্যে গড়ে প্রায় 5000 আইসোপ্রিন ইউনিট থাকে। প্রাকৃতিক রবারের মধ্যে থাকা আইসোপ্রিনে দুটি দ্বিবন্ধন সিস্ রূপে বর্তমান থাকে।



আইসোপ্রিন সিস্ পলিমার (2-মিথাইল 1, 3-বিউটাডাইন)

কৃত্রিম রবার তৈরি করা হয় আইসোপ্রিনের পরিবর্তে ডাই-ইনের পলিমারিজেশন প্রক্রিয়া দ্বারা। জিগলার নাটা (Zeigler-Natta) অনুঘটকের উপস্থিতিতে ডাইইন যৌগের পলিমারিজেশন প্রক্রিয়া ঘটিয়ে কৃত্রিম রবার তৈরি করা হয়।

যেমন,



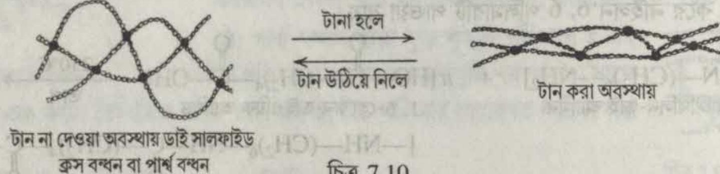
সিস্-পলি (1, 3-বিউটাডাইন)

2-ক্লোরো-1, 3-বিউটাডাইন ($CH_2=CCl-CH=CH_2$)-এর পলিমারাইজেশন-এর ফলে কৃত্রিম রবার **নিওপ্রিন** তৈরি হয়।

● **ভালকানাইজেশন** (Vulcanisation) **ঃ** প্রাকৃতিক রবার বা কৃত্রিম রবার উভয়েই স্বাভাবিক অবস্থায় প্লাস্টিকের মতো ধর্মবিশিষ্ট হয়—খুব একটি স্থিতিস্থাপক হয় না। প্রাকৃতিক রবারের মতোই কৃত্রিম রবারও খুব নরম এবং চট্‌চটে পদার্থ। স্বভাবতই এই দুই রকম রবারই এই অবস্থায় কাজের অনুপযুক্ত হয়। স্বাভাবিক এবং কৃত্রিম—উভয় রবারকেই শক্ত অথচ ইলাস্টিক করে বিভিন্ন কাজের উপযুক্ত করে তোলার জন্য **চার্লস গুডইয়ার** একটি পদ্ধতির আবিষ্কার করেন। এই পদ্ধতিটিকে ভালকানাইজেশন বলা হয়। প্রক্রিয়াটি হল, প্রাকৃতিক বা কৃত্রিম রবারকে সালফারের সাথে মিশিয়ে উত্তপ্ত করলে, নরম ও চট্‌চটে ওই রবার কঠিন এবং ইলাস্টিক হয়ে ওঠে। গুডইয়ার সালফারের সঙ্গো রবারের এই বিক্রিয়াটির নাম দেন **ভালকানাইজেশন।**

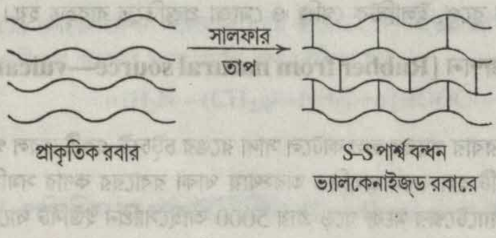
প্রাকৃতিক বা কৃত্রিম রবারকে সালফারের সঙ্গো উত্তপ্ত করলে রবার পলিমারের শৃঙ্খলগুলির মধ্যে ডাইসালফাইড বন্ধন

সৃষ্টির মাধ্যমে বা পলিমার শৃঙ্খলগুলি পরস্পরের সঙ্গে যুক্ত হয়ে অতি বৃহৎ (Giant molecular) অণুতে পরিণত হয়। রবার পলিমারটির মধ্যে দ্বিবন্ধন থাকায় পলিমার শৃঙ্খলগুলির মধ্যে অনেক বাঁক থাকায় ওই শৃঙ্খলগুলি ঘনসন্নিবিষ্ট হয়ে কেলাসিত পলিমারে পরিণত হতে পারে না। পাশাপাশি বন্ধন সৃষ্টি হওয়ার ফলে এই ভালকানাইজড পলিমারকে যখন টানা হয়—তখন টানের দিকে পলিমারটি প্রসারিত হয় কিন্তু ছিঁড়ে যায় না। টানটি উঠিয়ে নিলেই রবারটি আবার তার পূর্বের আকার ও আয়তনে ফিরে যায়। নীচের চিত্রে বিষয়টি দেখানো হল।

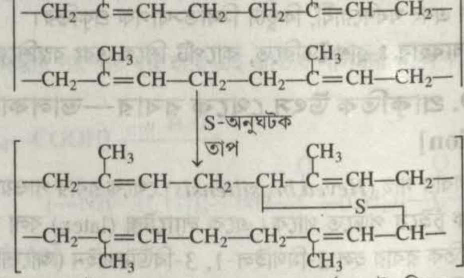


চিত্র 7.10

ভালকানাইজড রবারে আইসোপ্রিন এককগুলির মধ্যে সালফারের ডাই-সালফাইড পার্শ্ব বন্ধনগুলি দেখানো হল—



চিত্র 7.11



ভালকানাইজড রবার যার মধ্যে S—S পার্শ্ববন্ধন উপস্থিত

ভালকানাইজেশন প্রক্রিয়ার সময় রবারের সাথে যুক্ত সালফারের পরিমাণ নিয়ন্ত্রিত করে রবারের ভৌতধর্মগুলিকে নিয়ন্ত্রণ করা যায়। যেমন,

(i) রবারের মধ্যে 1—3% সালফার থাকলে, সেই রবার নরম, ইলাস্টিক হয়। এই রবার রবারের ব্যান্ড প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত হয়।

(ii) রবারের মধ্যে 3—10% সালফার থাকলে সেই রবার শক্ত এবং কঠিন হয়। এই জাতীয় রবার মোটরের টায়ার প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত হয়।

• তড়িদ্‌বিশ্লেষণ প্রণালী •

7.10. সোডিয়াম হাইড্রক্সাইডের শিল্পোৎপাদন (তড়িদ্‌বিশ্লেষণ প্রণালী) [Sodium Hydroxide by electrolysis]

[A] নীতি ঃ সোডিয়াম ক্লোরাইডের সম্পৃক্ত জলীয় দ্রবণের (ব্রাইন, Brine) তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করে কস্টিক সোডার পণ্য উৎপাদন করা হয়।

সোডিয়াম ক্লোরাইডের সম্পৃক্ত জলীয় দ্রবণে NaCl অণুগুলি বিয়োজিত হয়ে Na^+ এবং Cl^- আয়নে বিয়োজিত অবস্থায় থাকে। দ্রবণের জলের অণুগুলিও সামান্য বিয়োজিত হয়ে H^+ এবং OH^- আয়নে পরিণত হয়।

$$NaCl \rightleftharpoons Na^+ + Cl^- \quad ; \quad H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$$

সুতরাং NaCl-এর সম্পৃক্ত দ্রবণে Na^+, Cl^-, H^+ এবং OH^- আয়নগুলি থাকে। দ্রবণের মধ্য দিয়ে তড়িৎ-প্রবাহ চালনা করলে Na^+ এবং H^+ আয়নগুলি ক্যাথোডের দিকে যায়। Na-এর চেয়ে H কম ইলেকট্রোপজিটিভ মৌল—তাই H^+ আয়ন ক্যাথোড থেকে 1টি ইলেকট্রন গ্রহণ করে নিস্তড়িত H পরমাণুতে পরিণত হয় এবং 2টি H পরমাণু যুক্ত হয়ে H_2 অণু গঠন করে। দ্রবণটি সম্পৃক্ত বলে দ্রবণে Cl^- আয়নের আধিক্য থাকায় Cl^- আয়নগুলি অ্যানোডে যায় এবং ওদের বাড়তি ইলেকট্রন বর্জন করে নিস্তড়িত Cl পরমাণুতে পরিণত হয়। 2টি Cl পরমাণু পরস্পর যুক্ত হয়ে Cl_2 অণু উৎপন্ন করে।

ক্যাথোডে : $H^+ + e = H$ অ্যানোডে : $Cl^- - e = Cl$

$H + H = H_2\uparrow$ $Cl + Cl = Cl_2\uparrow$

দ্রবণে Na^+ এবং OH^- থেকে যায়। দ্রবণকে উত্তপ্ত করে বাষ্পীভূত করলে Na^+ এবং OH^- আয়নগুলি পরস্পর যুক্ত হয়ে NaOH গঠন করে। $Na^+ + OH^- = NaOH$

[B] অসুবিধা : এই প্রক্রিয়ার অসুবিধা এই যে (i) অ্যানোডে উৎপন্ন ক্লোরিন—ক্যাথোডে উৎপন্ন কস্টিক সোডা ও হাইড্রোজেনের সঙ্গে বিক্রিয়া করতে পারে। **(ii)** কস্টিক সোডার সঙ্গে ক্লোরিনের বিক্রিয়ায় সোডিয়াম ক্লোরাইড, হাইপোক্লোরাইট এবং ক্লোরেট লবণ উৎপন্ন হয়। এর ফলে উৎপন্ন কস্টিক সোডার অপচয় ঘটে এবং বিশুদ্ধ কস্টিক সোডা পাওয়া যায় না।

$$Cl_2 + 2NaOH = NaCl + NaOCl + H_2O$$

$$3Cl_2 + 6NaOH = 5NaCl + NaClO_3 + 3H_2O$$

(iii) ক্লোরিন ও হাইড্রোজেন একসঙ্গে মিশলে আবার বিস্ফোরণ ঘটার সম্ভাবনাও থেকে যায়।

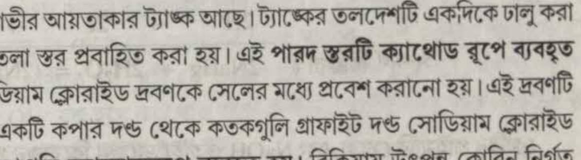
[C] অসুবিধা দূরীকরণ : তড়িদ্‌বিশ্লেষণ প্রণালীতে উৎপন্ন ক্লোরিন যেন কস্টিক সোডা ও হাইড্রোজেনের সংস্পর্শে না আসতে পারে, তার ব্যবস্থা করা হয়। কস্টিক সোডা উৎপাদনে সেইজন্য দুরকম বৈদ্যুতিক সেল ব্যবহার করা হয়।—**(a) মার্কারিঘটিত ক্যাথোড সেল, (b) মধ্যাবরক সেল।**

[*a*] মার্কারিঘটিত ক্যাথোড সেল (Solvey-Kelner's Modified Cells) :

বর্তমানে কাস্টনার কেলনারের সংশোধিত সেলে আরও উন্নত পদ্ধতিতে কস্টিক সোডা উৎপন্ন করা হয়। এই সেলটি **সল্‌ভে কেলনার সেল** নামে পরিচিত। এই পদ্ধতিতে দুটি পৃথক প্রকোষ্ঠ তৈরি করে কস্টিক সোডা এবং H_2 থেকে ক্লোরিনকে পৃথক রাখা হয়।

(1) প্রাইমারি সেল : সল্‌ভে-কেলনার সেলে একটি অগভীর আয়তাকার ট্যাঙ্ক আছে। ট্যাঙ্কের তলদেশটি একদিকে ঢালু করা থাকে। এই ঢালু তলদেশের ওপর দিয়ে পারদের একটি পাতলা স্তর প্রবাহিত করা হয়। এই **পারদ স্তরটি ক্যাথোড রূপে ব্যবহৃত হয়।** ব্রাইন ট্যাঙ্ক থেকে একটি নলের মধ্য দিয়ে সম্পৃক্ত সোডিয়াম ক্লোরাইড দ্রবণকে সেলের মধ্যে প্রবেশ করানো হয়। এই দ্রবণটি সেলে পারদ স্তরের উপরে থাকে। সেলের উপরের দিকে একটি কপার দণ্ড থেকে কতকগুলি গ্রাফাইট দণ্ড সোডিয়াম ক্লোরাইড দ্রবণের মধ্যে আংশিক ডুবিয়ে রাখা থাকে—**এই গ্রাফাইট দণ্ডগুলি অ্যানোডরূপে ব্যবহৃত হয়।** বিক্রিয়ায় উৎপন্ন ক্লোরিন নির্গত হওয়ার জন্য সেলের উপরের দিকে এক পাশে নির্গম নল থাকে।

অ্যানোড এবং ক্যাথোডকে ব্যাটারির সঙ্গে যোগ করলে সোডিয়াম ক্লোরাইড দ্রবণে তড়িৎ প্রবাহ হয়, এর ফলে অ্যানোডে Cl^- আয়নগুলি ইলেকট্রন ত্যাগ করে তড়িৎ মুক্ত হয়ে Cl_2 অণুতে পরিণত হয়। এইভাবে উৎপন্ন Cl_2 নির্গম নল দিয়ে বেরিয়ে যায়। NaCl-এর বিয়োজনে উৎপন্ন Na^+ আয়নগুলি মার্কারি ক্যাথোডে যায় এবং তড়িৎ মুক্ত হয়ে পারদে দ্রবীভূত হয়ে পারদ সংকরে পরিণত হয়। উৎপন্ন পারদ সংকর সেলের ঢালু তলদেশের উপর দিয়ে প্রবাহিত হয়ে নীচে একটি বিয়োজন কক্ষে প্রবেশ করে।



চিত্র 7.12 : মার্কারি ঘটিত ক্যাথোড সেলে কস্টিক সোডা উৎপাদন

(2) সেকেন্ডারি সেল বা বিয়োজন কক্ষ : বিয়োজন কক্ষটি একটি লোহার তৈরি ট্যাঙ্ক—এর মধ্যে জল রাখা থাকে। পারদ সংকর এই ট্যাঙ্কে জলের সঙ্গে বিক্রিয়া করে NaOH, পারদ এবং H_2 উৎপন্ন করে। উৎপন্ন হাইড্রোজেন, ট্যাঙ্কের উপরে অবস্থিত একটি নলের মধ্যে দিয়ে বেরিয়ে যায়। উৎপন্ন সোডিয়াম হাইড্রক্সাইড দ্রবণে থেকে যায়। মুক্ত পারদ একটি ট্যাঙ্কের মধ্যে এসে জমা হয়—এই পারদকে পাম্প করে আবার প্রাইমারি সেলের মধ্যে পাঠানো হয়। বিয়োজন কক্ষে NaOH দ্রবণের গাঢ়ত্ব 40% হলে দ্রবণটিকে পাত্রের বাইরে আনা হয় এবং লোহার পাত্রে উত্তপ্ত করে বাষ্পীভূত করে কঠিন কস্টিক সোডায় পরিণত করা হয়।

(3) বিক্রিয়া ঃ (i) প্রাইমারি সেলের মধ্যে ঃ NaCl জলীয় দ্রবণে Na^+ এবং Cl^- আয়নে বিয়োজিত হয়ে থাকে। জল দুর্বল তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য বলে কিছু পরিমাণে H^+ এবং OH^- আয়নে বিয়োজিত হয়ে থাকে। দ্রবণে তড়িৎ প্রবাহ করলে মার্কারি ক্যাথোডে H^+ আয়নের চেয়ে Na^+ আয়ন আগে ইলেকট্রন গ্রহণ করে Na-ধাতুতে পরিণত হয় এবং পারদ ক্যাথোডে দ্রবীভূত হয়ে পারদ সংকরে পরিণত হয়। **মার্কারি উচ্চ হাইড্রোজেন ওভার ভোল্টেজ H^+ আয়নকে মার্কারি ক্যাথোডে ক্ষরিত হতে বাধা দেয়।** Cl^- আয়ন অ্যানোডে ইলেকট্রন বর্জন করে Cl_2 গ্যাসে পরিণত হয়।

$$NaCl \rightleftharpoons Na^+ + Cl^-, \quad 2H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + OH^-$$

ক্যাথোডে ঃ $Na^+ + e = Na$ অ্যানোডে ঃ $Cl^- - e = Cl$

$Na + Hg = \underset{\text{পারদ সংকর}}{NaHg}$ $Cl + Cl = Cl_2\uparrow$

মার্কারি ক্যাথোড ব্যবহার করার ফলে, ক্যাথোডে H^+ আয়ন মুক্ত না হয়ে Na^+ আয়ন মুক্ত হয়ে পারদ সংকর উৎপন্ন করে। মার্কারি ক্যাথোডে H^+ আয়নের চেয়ে Na^+ আয়ন ইলেকট্রন গ্রহণ করার সুযোগ পায়, ফলে Na^+ মার্কারি ক্যাথোড থেকে ইলেকট্রন গ্রহণ করে ধাতব Na-তে পরিণত হয়ে Hg-এর সঙ্গে যুক্ত হয়ে পারদ সংকরে পরিণত হয়।

(ii) বিয়োজন প্রকোষ্ঠে বিক্রিয়া ঃ বিয়োজন প্রকোষ্ঠে পারদ সংকরে অবস্থিত Na, জলের সংস্পর্শে ইলেকট্রন ত্যাগ করে Na^+ আয়নে পরিণত হয়ে দ্রবণে আসে। ওই বর্জিত ইলেকট্রন মার্কারি মাধ্যমে আয়রনে চলে আসে। জলের বিয়োজনের ফলে উৎপন্ন H^+ আয়ন আয়রন থেকে ইলেকট্রন গ্রহণ করে H_2 গ্যাসে পরিণত হয়। পারদ মুক্ত অবস্থায় আসে। দ্রবণে Na^+ এবং OH^- আয়ন থেকে যায় ফলে NaOH দ্রবণের সৃষ্টি হয়।

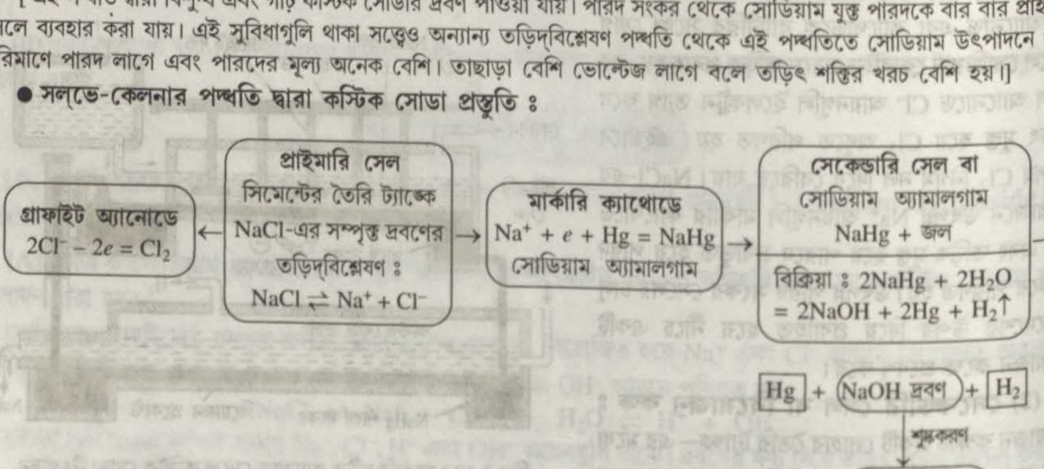
$$2H_2O \rightleftharpoons 2H^+ + 2OH^-$$
$$2NaHg \rightarrow 2Na^+ + 2Hg + 2e$$
$$2H^+ + 2e \rightarrow H_2\uparrow$$

সম্পূর্ণ বিক্রিয়া ঃ $2NaHg + 2H_2O = \underset{\downarrow \; 2NaOH}{(2Na^+ + 2OH^-)} + 2Hg + H_2\uparrow$

ক্লোরিন প্রাইমারি সেলে এবং NaOH ও হাইড্রোজেন বিয়োজন প্রকোষ্ঠে উৎপন্ন হয় বলে এদের পরস্পরের সংস্পর্শে আসার কোনো সুযোগ থাকে না।

[এই পদ্ধতি দ্বারা বিশুদ্ধ এবং গাঢ় কস্টিক সোডার দ্রবণ পাওয়া যায়। পারদ সংকর থেকে সোডিয়াম যুক্ত পারদকে বার বার প্রাইমারি সেলে ব্যবহার করা যায়। এই সুবিধাগুলি থাকা সত্ত্বেও অন্যান্য তড়িদ্‌বিশ্লেষণ পদ্ধতি থেকে এই পদ্ধতিতে সোডিয়াম উৎপাদনে প্রচুর পরিমাণে পারদ লাগে এবং পারদের মূল্য অনেক বেশি। তাছাড়া বেশি ভোল্টেজ লাগে বলে তড়িৎ শক্তির খরচ বেশি হয়।]

● **সল্‌ভে-কেলনার পদ্ধতি দ্বারা কস্টিক সোডা প্রস্তুতি ঃ**



***[b]* মধ্যাবরক সেল** (Diaphragm Cell, **নেলসন সেল**) **ঃ**

এই পদ্ধতিতে সোডিয়াম ক্লোরাইড দ্রবণের তড়িদ্‌বিশ্লেষণে সোডিয়াম হাইড্রক্সাইড উৎপন্ন করা হয়। পরের পাতায় নেলসন সেলের বর্ণনা দেওয়া হল ঃ

(1) বর্ণনা : (i) এই সেলে U-**আকৃতির একটি সচ্ছিদ্র স্টিলের ক্যাথোড থাকে।** (ii) এই ক্যাথোডের ভেতরের দেয়ালটি পাতলা অ্যাসবেস্টসের পর্দা দিয়ে ঢাকা থাকে। এই **অ্যাসবেস্টসের পর্দাই মধ্যাবরকের কাজ করে** এবং এইভাবে ক্যাথোডকে, অ্যানোড থেকে পৃথক করে রাখে। (iii) ক্যাথোডের পাত্রটির মধ্যে **সোডিয়াম ক্লোরাইডের সম্পৃক্ত দ্রবণ** নেওয়া হয়, একটি নলের ভিতর দিয়ে এই সম্পৃক্ত দ্রবণ অনবরত সেলে প্রবেশ করে এবং অতিরিক্ত দ্রবণ একটি নির্গম নল দিয়ে বেরিয়ে আসে। (iv) সোডিয়াম ক্লোরাইড দ্রবণের মধ্যে একটি **গ্রাফাইটের দণ্ড ডোবানো থাকে—এটি অ্যানোড রূপে ব্যবহৃত হয়।** (v) U-আকৃতির স্টিলের পাত্রটি একটি লোহার বড়ো পাত্রের মধ্যে ঢোকানো থাকে। পাত্রটির উপর ঢাকনা দেওয়া থাকে। একে ক্যাথোড প্রকোষ্ঠ বলে। (vi) অ্যানোডের উপরে একটি নির্গম নল দিয়ে উৎপন্ন Cl_2 বেরিয়ে যায় এবং ক্যাথোডে উৎপন্ন H_2 অন্য আর একটি নলের মধ্য দিয়ে বেরিয়ে যায়। (vii) স্টিলের পাত্রের নীচের দিকে অবস্থিত একটি নলের মধ্য দিয়ে **পাত্রের মধ্যে স্টিম চালনা করা হয়।** এর ফলে,



চিত্র 7.13 : মধ্যাবরক সেল

(a) U-আকারের স্টিল ক্যাথোড উত্তপ্ত হয় এবং তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য পদার্থ NaCl দ্রবণও উত্তপ্ত হয়, ফলে দ্রবণের রোধ (Resistance) কমে যায়।

(b) উৎপন্ন NaOH স্টিমের জলে দ্রবীভূত অবস্থায় পাওয়া যায়।

(c) মধ্যাবরকের ছিদ্রের মধ্যে জমে থাকা NaOH স্টিমে দ্রবীভূত হয়ে যায়। এর ফলে ছিদ্রগুলি পরিষ্কার হয়ে যায় এবং দ্রবণ ক্যাথোডের সংস্পর্শে আসতে পারে।

(2) বিক্রিয়া : দ্রবণের মধ্যে তড়িৎ-প্রবাহ চালনা করলে NaCl দ্রবণের Na^+ আয়ন এবং জলের H^+ আয়ন অ্যাসবেস্টসের পর্দা ভেদ করে ক্যাথোডে এলে বিক্রিয়া শুরু হয়। ক্যাথোডে H^+ আয়ন ইলেকট্রন গ্রহণ করে H_2-তে পরিণত হয়ে উপরের নির্গম নল দিয়ে বেরিয়ে যায়। NaCl-এর গাঢ় দ্রবণে OH^- আয়নের চেয়ে Cl^- আয়নের গাঢ়ত্ব অনেক বেশি হওয়ায় অ্যানোড Cl^- আয়নগুলি ইলেকট্রন বর্জন করে নিস্তড়িত Cl পরমাণুতে পরিণত হয়। দুটি Cl পরমাণু পরস্পর যুক্ত হয়ে Cl_2 অণুতে পরিণত হয়ে অন্য একটি নির্গম নল দিয়ে বেরিয়ে যায়। Na^+ এবং OH^- যুক্ত হয়ে ক্যাথোড কক্ষে কস্টিক সোডা উৎপন্ন করে। স্টিমের জল দ্বারা দ্রবীভূত হয়ে (10-20%) NaOH দ্রবণ উৎপন্ন করে পাত্রের তলায় জমা হয়।

$$NaCl \rightleftharpoons Na^+ + Cl^- \quad , \quad H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$$

ক্যাথোডে : $H^+ + e = H$, $\quad H + H = H_2\uparrow$

অ্যানোডে : $Cl^- + e = Cl$, $\quad Cl + Cl = Cl_2\uparrow$

$$Na^+ + OH^- = NaOH$$

(3) বিশুদ্ধিকরণ : এইভাবে প্রাপ্ত NaOH দ্রবণের সঙ্গে 25% NaCl দ্রবণ মেশানো থাকে। এই মিশ্র দ্রবণকে পাত্রের বাইরে এনে বাষ্পীভূত করে গাঢ় করার পর ধীরে ধীরে শীতল করলে NaCl আগে কেলাসিত হয়ে দ্রবণ থেকে পৃথক হয়। তারপর অবশিষ্ট দ্রবণকে বাষ্পীভূত করলে কঠিন NaOH পাওয়া যায়।

বর্তমানে মধ্যাবরক সেল থেকে প্রাপ্ত NaCl মেশানো কস্টিক সোডা দ্রবণের সঙ্গে অ্যালকোহল মিশিয়ে কিংবা NH_3 দ্বারা সম্পৃক্ত করে অশুদ্ধি NaCl-কে অধঃক্ষিপ্ত করে দ্রবণ থেকে পৃথক করা হয়। ফিল্টার করে এই অধঃক্ষিপ্ত NaCl-কে পৃথক করে প্রাপ্ত পরিস্রুতকে বাষ্পীভূত করলে বিশুদ্ধ NaOH পাওয়া যায়।

● কস্টিক সোডা উৎপাদনে মার্কারি ক্যাথোড সেল এবং মধ্যাবরক সেল ব্যবহারের সুবিধা এবং অসুবিধা :

(1) মার্কারি ক্যাথোড সেল :

(a) সুবিধা : (i) মার্কারি ক্যাথোড সেলে বিশুদ্ধ এবং গাঢ় কস্টিক সোডার দ্রবণ পাওয়া যায়। (ii) উৎপন্ন পারদ সংকর থেকে সোডিয়াম মুক্ত পারদকে বার বার ব্যবহার করা যায়। (iii) উপজাত হিসাবে মূল্যবান ক্লোরিন এবং হাইড্রোজেন পাওয়া যায়, নানা শিল্পে যার চাহিদা প্রচুর।

(b) অসুবিধা : (i) এই পদ্ধতিতে উৎপাদন খরচ অনেক বেশি পড়ে। এর কারণ হল, এই পদ্ধতিতে প্রচুর পরিমাণ পারদের প্রয়োজন হয় যার মূল্য অনেক বেশি। (ii) এই পদ্ধতিতে বেশি ভোল্টেজ ব্যবহার করতে হয় বলে তড়িৎশক্তির খরচ বেশি পড়ে। (iii) পারদ দূষণ রোধ করা এই পদ্ধতির একটি বড়ো সমস্যা।

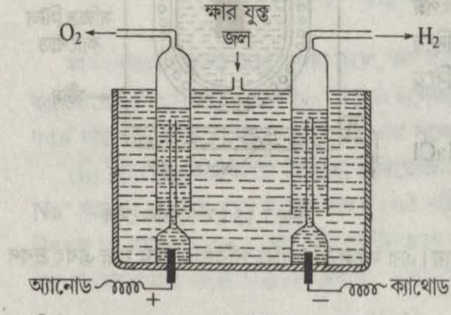
(2) মধ্যাবরক সেল বা নেলসন সেল ঃ

(a) সুবিধা ঃ (i) মধ্যাবরক সেল পদ্ধতিতে কস্টিক সোডার উৎপাদন খরচ অনেক কম পড়ে। **(ii)** এই পদ্ধতিতে পরিবেশ দূষণ হয় না। **(iii)** এই পদ্ধতিতে প্রাপ্ত উপজাত দ্রব্য ক্লোরিন এবং হাইড্রোজেনের চাহিদা প্রচুর।

(b) অসুবিধা ঃ (i) মধ্যাবরক সেলে প্রস্তুত কস্টিক সোডার মধ্যে সোডিয়াম ক্লোরাইড অশুদ্ধি থেকে যায়। **(ii)** এই সেলে প্রাপ্ত কস্টিক সোডার দ্রবণ লঘু হয়।

7.11. হাইড্রোজেনের শিল্পোৎপাদন [Manufacture of Hydrogen]

(1) জলের তড়িদ্‌বিশ্লেষণ দ্বারা ঃ সামান্য ক্ষারীয় জলকে আয়রন কিংবা নিকেল তড়িদ্দ্বারের সাহায্যে জলের তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করলে জল বিশ্লিষ্ট হয়ে হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন গ্যাসে পরিণত হয়। অক্সিজেন গ্যাস অ্যানোডে এবং হাইড্রোজেন গ্যাস ক্যাথোডে জমা হয়।



চিত্র 7.14 ঃ জলের তড়িদ্‌বিশ্লেষণে অক্সিজেন প্রস্তুতি

$$H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$$

ক্যাথোডে ঃ $2H^+ + 2e \rightarrow 2H \rightarrow H_2\uparrow$

অ্যানোডে ঃ $2OH^- - 2e \rightarrow 2OH,\ 4OH = 2H_2O + O_2\uparrow$

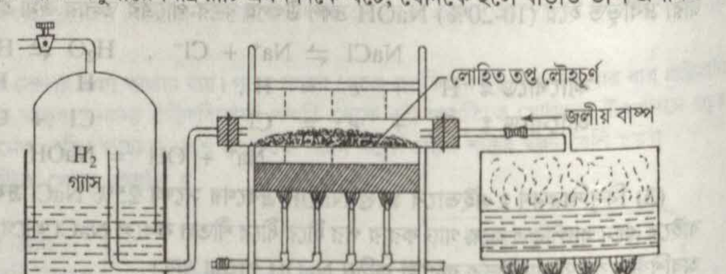
(2) লেন প্রণালী দ্বারা (Lane's process) **ঃ [A] নীতি ঃ** লোহিত তপ্ত আয়রন চূর্ণের উপর দিয়ে স্টিম চালনা করলে, লোহিত তপ্ত আয়রন H_2O-কে বিজারিত করে H_2 উৎপন্ন করে এবং আয়রন জারিত হয়ে ফেরোসোফেরিক অক্সাইডে পরিণত হয়।

$$3Fe + 4H_2O \rightleftharpoons Fe_3O_4 + 4H_2\uparrow + \text{তাপ}$$

[B] ভৌত রাসায়নিক তত্ত্ব ঃ বিক্রিয়াটি—**(i)** উভমুখী, **(ii)** সম্মুখ বিক্রিয়াটি তাপ উৎপাদক, **(iii)** বিক্রিয়াশীল গ্যাসের (স্টিম) মোল সংখ্যা বিক্রিয়াজাত গ্যাসের (H_2) মোল সংখ্যার সমান। সুতরাং বিক্রিয়াটিতে আয়তনের কোনো পরিবর্তন হয় না।

(i) তাপের প্রভাব ঃ (a) এই উভমুখী বিক্রিয়ায় যেহেতু সম্মুখ বিক্রিয়াটি তাপ উৎপাদক, সুতরাং বিপরীত বিক্রিয়াটি তাপশোষক। তাই এই বিক্রিয়ায় উষ্ণতা বাড়ালে শাতেলিয়ারের নীতি অনুসারে বিক্রিয়াটি এমন দিকে ঘটে, যেদিকে হলে বাড়তি তাপ প্রশমিত হবে। যেহেতু বিপরীত বিক্রিয়াটি তাপশোষক তাই বাড়তি তাপ প্রশমিত করার জন্য বিপরীত দিকে বিক্রিয়া ঘটে, ফলে H_2-এর উৎপাদন কমে যায়।

(b) কম উষ্ণতায় বিক্রিয়াটি ঘটালে বিক্রিয়াটি এমন দিকে হবে যেদিকে হলে ঘাটতি তাপ পূরণ হবে। যেহেতু সম্মুখ বিক্রিয়াটি তাপ উৎপাদক তাই এক্ষেত্রে সম্মুখ বিক্রিয়া ঘটে। এর ফলে H_2-এর উৎপাদন বাড়ে। কিন্তু কম উষ্ণতায় বিক্রিয়াটি ঘটালে বিক্রিয়ার হার খুব মন্থর হয়ে পড়ে। দেখা গেছে বিক্রিয়াটিকে 600–750°C উষ্ণতায় ঘটালে বিক্রিয়ার হার এবং H_2-এর উৎপাদন সন্তোষজনক হয়, তাই ওই উষ্ণতায় বিক্রিয়াটি ঘটানো হয়। সুতরাং বিক্রিয়াটির অপটিমাম উষ্ণতা 750°C।



চিত্র 7.15 ঃ স্টিম থেকে হাইড্রোজেন প্রস্তুতি

(ii) চাপের প্রভাব ঃ যেহেতু এই বিক্রিয়ায় বিক্রিয়ক বা বিক্রিয়াজাত পদার্থের আয়তনের কোনো পরিবর্তন হয় না, তাই বিক্রিয়াটির সাম্যাবস্থার উপর চাপের কোনো প্রভাব নেই। তাই সাধারণ চাপেই বিক্রিয়াটি ঘটানো হয়।

(iii) বিক্রিয়কের গাঢ়ত্বের প্রভাব ঃ Fe এবং Fe_3O_4 কঠিন অবস্থায় থাকে, তাই সম্মুখ বিক্রিয়াটির সাম্যধ্রুবক হল, $K_p = \frac{(P_{H_2})^4}{(P_{H_2O})^4}$ । এখন বিক্রিয়ার উষ্ণতায় K_p স্থির। তাই এই বিক্রিয়ায় স্টিমের গাঢ়ত্ব বাড়ালে অর্থাৎ অতিরিক্ত স্টিম ব্যবহার করলে K_p-এর মান স্থির রাখার জন্য সম্মুখ দিকে বিক্রিয়া ঘটে, ফলে H_2-এর উৎপাদন বাড়বে।

(iv) বিক্রিয়াজাত পদার্থের প্রভাব ঃ সম্মুখ বিক্রিয়ার ফলে উৎপন্ন H_2-কে বিক্রিয়ার পরিবেশ থেকে বের করে নিলে K_p-এর মান স্থির রাখার জন্য সম্মুখ বিক্রিয়ার হার বাড়বে ফলে H_2-এর উৎপাদন বাড়ে।

[C] পদ্ধতি ঃ প্রথমে স্প্যাথিক আয়রন আকরিককে উত্তপ্ত করে FeO উৎপন্ন করা হয়।

$$FeCO_3 = FeO + CO_2$$

উৎপন্ন FeO-কে বিজারিত করে স্পঞ্জের মতো ঝাঁঝরা বিশিষ্ট আয়রন উৎপন্ন করা হয়। কতকগুলি লোহার তৈরি চোঙের মধ্যে এই স্পঞ্জি আয়রন রেখে, চোঙগুলিকে খাড়াভাবে পরপর সাজিয়ে রেখে 750°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত করা হয় এবং সেই সঙ্গে চোঙগুলির মধ্যে স্টিম চালনা করা হয়। এইভাবে লোহিত তপ্ত আয়রনের উপর দিয়ে স্টিম চালনার ফলে H_2 গ্যাস উৎপন্ন হয়। উৎপন্ন H_2-কে নির্গম নলের মধ্য দিয়ে বের করে গ্যাস হোল্ডারের মধ্যে সংগ্রহ করা হয়।

[D] আয়রনের পুনরুদ্ধার ঃ উৎপন্ন ফেরোসোফেরিক অক্সাইডকে উত্তপ্ত অবস্থায় ওয়াটার গ্যাস চালনা করে আবার আয়রনে বিজারিত করে ব্যবহার করা যায়।

$$Fe_3O_4 + 4H_2 = 3Fe + 4H_2O \quad ; \quad Fe_3O_4 + 4CO = 3Fe + 4CO_2$$

স্টিম চালনা এবং ওয়াটার গ্যাস চালনা করে উৎপন্ন Fe_3O_4-কে বিজারণ করা, পর্যায়ক্রমে চলতে থাকে। এই পদ্ধতিতে প্রস্তুত হাইড্রোজেন 98·5—99% বিশুদ্ধ।

(3) ওয়াটার গ্যাস থেকে—বসের পদ্ধতি ঃ (i) শ্বেততপ্ত কোকের (1400°C) **উপর দিয়ে স্টিম চালনা করলে ওয়াটার গ্যাস প্রস্তুত হয়।** ওয়াটার গ্যাস হল H_2 এবং CO-এর সম আয়তন মিশ্রণ। বিক্রিয়াটি তাপশোষক। যেহেতু সম্মুখ বিক্রিয়াটি তাপশোষক তাই উচ্চ উষ্ণতায় বিক্রিয়াটি ঘটানো হয়, ফলে সম্মুখ বিক্রিয়া ঘটে।

$$C + H_2O \rightleftharpoons \underset{\text{ওয়াটার গ্যাস}}{(CO + H_2)} - 38{\cdot}9 \text{ k cal}$$

(ii) উৎপন্ন ওয়াটার গ্যাসের এক আয়তনের সঙ্গে তিন আয়তন **স্টিম মিশিয়ে** 400°C উষ্ণতায় **উত্তপ্ত Fe_2O_3 (অনুঘটক)** এবং **Cr_2O_3 (উদ্দীপক)**-এর উপর দিয়ে চালনা করলে **কার্বন মনোক্সাইড, কার্বন ডাইঅক্সাইডে পরিণত হয়।**

$$(CO + H_2) + H_2O \rightleftharpoons CO_2 + 2H_2 + 98 \text{ k cal}$$

(a) তাপের প্রভাব ঃ বিক্রিয়াটি তাপ উৎপাদক হওয়ায় কম উষ্ণতায় বিক্রিয়াটি ঘটালে সম্মুখ বিক্রিয়া ঘটে H_2-এর উৎপাদন বাড়ে, কিন্তু কম উষ্ণতায় বিক্রিয়াটি ঘটালে সম্মুখ বিক্রিয়ার হার খুব কমে যায়। দেখা গেছে বিক্রিয়াটি 450—500°C উষ্ণতায় ঘটালে বিক্রিয়ার হার এবং H_2-এর উৎপাদন সন্তোষজনক হয়। তাই বিক্রিয়াটি 450°C উষ্ণতায় ঘটানো হয়। বিক্রিয়াটি আরম্ভ করার সময় বিক্রিয়া প্রকোষ্ঠের উষ্ণতা 450°C করা হয়। বিক্রিয়াটি একবার আরম্ভ হলে বাইরে থেকে তাপ দেওয়ার দরকার হয় না।

(b) চাপের প্রভাব ঃ সম্মুখ বিক্রিয়ায় আয়তনের কোনো পরিবর্তন না হওয়ার জন্য বিক্রিয়াটির উপর চাপের কোনো প্রভাব নেই। সাধারণ চাপেই বিক্রিয়াটি ঘটানো হয়।

(c) বিক্রিয়কের গাঢ়ত্বের প্রভাব ঃ সম্মুখ বিক্রিয়াটির সাম্য $K_p = \frac{(P_{CO_2}) \times (P_{H_2})}{(P_{CO}) \times (P_{H_2O})}$. 450°C উষ্ণতায় K_p-এর মান স্থির, তাই স্টিমের পরিমাণ বেশি রাখলে বিক্রিয়ার গতি ডান দিকে হয় ফলে CO সম্পূর্ণভাবে CO_2-তে পরিণত হয়।

(iii) এইভাবে উৎপন্ন CO_2 এবং H_2-এর মিশ্রণকে 20—30 **বায়ুমণ্ডল চাপে প্রথমে জলের ভিতর** দিয়ে চালনা করে এবং পরে **কস্টিক সোডার** মধ্য দিয়ে চালনা করে **CO_2-কে দূর করা হয়।** সামান্য CO বর্তমান থাকলে **অ্যামোনিয়াযুক্ত কিউপ্রাস ক্লোরাইড দ্রবণের** ভিতর দিয়ে চালনা করে অপসারিত করা হয়। হাইড্রোজেন গ্যাসকে গ্যাস-হোল্ডারে সংগ্রহ করা হয়। এই পদ্ধতি **বস্ পদ্ধতি** (Bosch's process) নামে পরিচিত।

(4) প্রাকৃতিক গ্যাস থেকে (From natural gas) **ঃ** প্রাকৃতিক গ্যাসের মধ্যে প্রধানত মিথেন গ্যাস থাকে। প্রাকৃতিক গ্যাসের সঙ্গে **স্টিম মিশিয়ে 700°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত নিকেল অনুঘটকের উপর দিয়ে চালনা করলে মিথেন জারিত হয়ে H_2 উৎপন্ন করে।**

$$CH_4 + 2H_2O = CO_2 + 4H_2\uparrow$$

CO_2-কে (20—30) বায়ুমণ্ডলের চাপে জলের মধ্যে শোষিত করা হয়।

7.12. ক্লোরিনের শিল্পোৎপাদন [Large scale preparation of Chlorine]

(1) তড়িদ্‌বিশ্লেষণ পদ্ধতি ঃ এই পদ্ধতিতে সোডিয়াম ক্লোরাইডের ঘন জলীয় দ্রবণের তড়িদ্‌বিশ্লেষণ করে ক্লোরিন উৎপন্ন করা হয়। বিভিন্ন প্রকার তড়িদ্‌বিশ্লেষণ পাত্রে NaCl দ্রবণের তড়িদ্‌বিশ্লেষণ দ্বারা Cl_2 উৎপন্ন করা হয়। এই তড়িদ্‌বিশ্লেষণ পাত্রগুলি

বিভিন্ন নামে পরিচিত। যেমন, এর আগে আমরা দেখেছি কী করে সোডিয়াম হাইড্রক্সাইডের শিল্প প্রস্তুতিতে NaCl-এর গাঢ় জলীয় দ্রবণের তড়িদ্‌বিশ্লেষণ দ্বারা কি করে ক্যাথোডে NaOH এবং অ্যানোডে Cl_2 উৎপন্ন করা হয়। বিভিন্ন তড়িদ্‌বিশ্লেষণ পাত্রে এই বিক্রিয়া ঘটানো হয়। যেমন, সল্‌ভে-কেলনারের মার্কারি ঘটিত সেল, নেলসন সেল, গিব্‌স সেল ইত্যাদি।

(2) সল্‌ভে-কেলনার পদ্ধতি ঃ সল্‌ভে-কেলনারের মার্কারি ঘটিত প্রাইমারি সেলের অ্যানোডে ক্লোরিন গ্যাস মুক্ত হয়। এই সেলের বিক্রিয়া নীচে ব্যাখ্যা করা হল—

বিক্রিয়া ঃ (i) প্রাইমারি সেলের মধ্যে ঃ NaCl জলীয় দ্রবণে Na^+ এবং Cl^- আয়নে বিয়োজিত হয়ে থাকে। জল দুর্বল তড়িদ্‌বিশ্লেষ্য বলে কিছু পরিমাণে H^+ এবং OH^- আয়নে বিয়োজিত হয়ে থাকে। দ্রবণে তড়িৎপ্রবাহ করলে মার্কারি ক্যাথোডে H^+ আয়নের চেয়ে Na^+ আয়ন আগে ইলেকট্রন গ্রহণ করে Na-ধাতুতে পরিণত হয় এবং পারদ ক্যাথোডে দ্রবীভূত হয়ে পারদ সংকরে পরিণত হয়। **মার্কারির উচ্চ হাইড্রোজেন ওভার ভোল্টেজ H^+ আয়নকে মার্কারি ক্যাথোডে ক্ষরিত হতে বাধা দেয়।** Cl^- আয়ন অ্যানোডে ইলেকট্রন বর্জন করে Cl_2 গ্যাসে পরিণত হয়।

$$NaCl \rightleftharpoons Na^+ + Cl^- \quad , \quad H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$$

ক্যাথোডে ঃ $Na^+ + e \rightarrow Na$ **অ্যানোডে ঃ** $Cl^- - e \rightarrow Cl$

$Na + Hg = \underset{\text{পারদ সংকর}}{NaHg}$ $\qquad Cl + Cl = Cl_2\uparrow$

7.13. ব্লিচিং পাউডার $\left[\textbf{(Bleaching powder)}\ Ca\begin{matrix}\diagup OCl\\ \diagdown Cl\end{matrix}\right]$

ব্লিচিং পাউডার একটি বিশেষ প্রয়োজনীয় যৌগ। এর রাসায়নিক নাম হল **ক্যালশিয়াম ক্লোরো হাইপোক্লোরাইট।**

[A] শিল্প প্রস্তুতি (Manufacturing process) ঃ

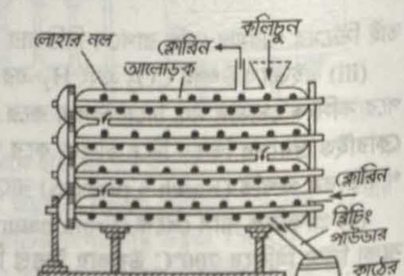
(1) নীতি (Principle) ঃ 40ºC উষ্ণতায় শুষ্ক কলিচুনের উপর দিয়ে ক্লোরিন গ্যাস চালনা করলে কলিচুন Cl_2-কে শোষণ করে ব্লিচিং পাউডারে পরিণত হয়।

$$Ca(OH)_2 + Cl_2 = Ca\begin{matrix}\diagup OCl\\ \diagdown Cl\end{matrix} + H_2O$$

ব্লিচিং পাউডার প্রস্তুতিতে যে ক্লোরিন ব্যবহার করা হয়, তার মধ্যে যেন CO_2, HCl বা জলীয় বাষ্প না থাকে। কাটারের মার্কারি ঘটিত সেল বা নেলসন সেলে উৎপন্ন ক্লোরিন উপজাত দ্রব্য রূপে পাওয়া যায়। এই Cl_2 দ্বারা ব্লিচিং পাউডার প্রস্তুত করা হয়।

● **হেজেনক্লেভার পদ্ধতি** (Hesenclever process) ঃ

বর্ণনা ঃ একটি বিশেষ যন্ত্রে হেজেনক্লেভার ব্লিচিং পাউডার প্রস্তুত করেন। এই যন্ত্রে কয়েকটি লোহার তৈরি দীর্ঘনল উপর থেকে নীচের দিকে পরপর অনুভূমিকভাবে রাখা থাকে। প্রতিটি নলের মধ্যে 'স্ক্রু'-এর মতো লম্বা আলোড়ক আছে। সবচেয়ে উপরের লোহার নলটির মধ্যে একটি হপারের সাহায্যে কলিচুন ঢালা হয়। উপরের নল থেকে পরের নীচের নলে কলিচুন পাঠাবার জন্য ছিদ্রপথ আছে। আলোড়কগুলি আস্তে আস্তে ঘুরতে থাকে। আলোড়কের ঘূর্ণনের ফলে এই কলিচুন প্রথম নলের এক প্রান্ত থেকে অন্য প্রান্তে চালিত হয়, শেষে একটি ছিদ্রের মধ্য দিয়ে দ্বিতীয় নলে প্রবেশ করে। এইভাবে কলিচুন প্রতিটি নলের দৈর্ঘ্য বরাবর চালিত হয়ে একেবারে নীচের নলে চলে আসে। সবচেয়ে নীচের নলটির মধ্যে একটি নলের সাহায্যে ক্লোরিন গ্যাস চালনা করা হয়।



চিত্র 7.16 ঃ হেজেনক্লেভারের ব্লিচিং পাউডার প্রস্তুতির যন্ত্র

পদ্ধতি ঃ প্রথমে কিছু কলিচুন ঢালার সঙ্গে সঙ্গে একেবারে নীচের নল দিয়ে ক্লোরিন গ্যাস চালনা করা হয়। আলোড়কগুলি ধীরে ধীরে ঘুরতে থাকে ফলে একটির পর একটি নল দিয়ে কলিচুন উপর থেকে নীচের দিকে ধীরে ধীরে নামতে থাকে আর ক্লোরিন গ্যাস নীচ থেকে উপরের দিকে উঠতে থাকে। এর ফলে কলিচুনের সঙ্গে ক্লোরিন ভালভাবে মেশে। কলিচুনে ক্লোরিন শোষিত হয়ে ব্লিচিং পাউডার উৎপন্ন হয়। সবচেয়ে নীচের নলের একটি নির্গম-দ্বার দিয়ে ব্লিচিং পাউডার বের হয়ে কাঠের পিপাতে জমা হয়।

ব্যবহার ঃ জীবাণুনাশক রূপে, কাগজ এবং বস্ত্রশিল্পে বিরঞ্জনের কাজে প্রচুর ব্লিচিং পাউডার ব্যবহৃত হয়। ক্লোরোফর্ম প্রস্তুতিতে এবং নর্দমা জীবাণু মুক্ত করতে ব্লিচিং পাউডার ব্যবহার করা হয়।

লভ্য ক্লোরিন ঃ 100 ভাগ ওজনের ব্লিচিং পাউডার, লঘু অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়ায় যত ভাগ ওজনের ক্লোরিন মুক্ত করে, তত ভাগ ওজনের ক্লোরিন ওই নমুনার ব্লিচিং পাউডারের লভ্য ক্লোরিনের শতকরা পরিমাণ।

● জ্বালানি গ্যাস ●

জ্বালানি (Fuel) **ঃ যে দাহ্য বস্তুর দহনের ফলে তাপশক্তি উৎপন্ন হয়, তাকে জ্বালানি** (Fuel) **বলে।** সাধারণ জ্বালানির উপাদানের মধ্যে কার্বন বা হাইড্রোজেন কিংবা উভয় মৌলকে যুক্ত অবস্থায় দেখা যায়।

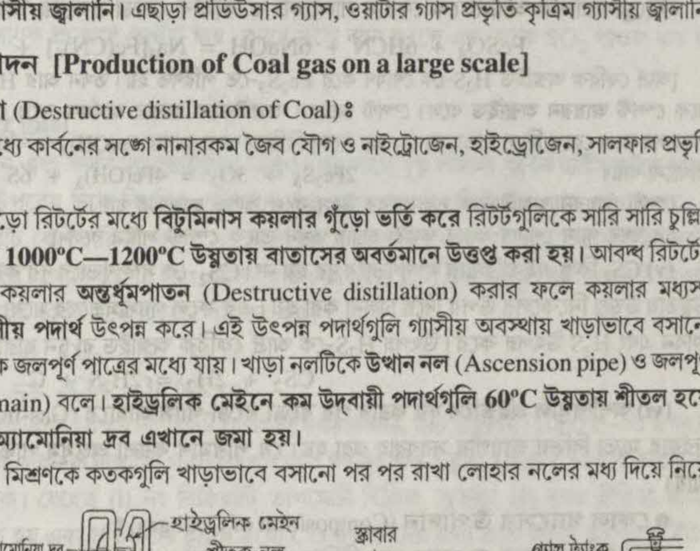
প্রকৃতিতে যেসব কঠিন, তরল ও গ্যাসীয় জ্বালানি আছে, সেইগুলি ছাড়া কৃত্রিম উপায়ে কতকগুলি গ্যাসীয় জ্বালানি তৈরি করা হয়। **কোল গ্যাস এইরকম একটি কৃত্রিম গ্যাসীয় জ্বালানি।** এছাড়া প্রডিউসার গ্যাস, ওয়াটার গ্যাস প্রভৃতি কৃত্রিম গ্যাসীয় জ্বালানি।

7.14. কোল গ্যাসের শিল্প-উৎপাদন [Production of Coal gas on a large scale]

● কয়লার অন্তর্ধূমপাতন প্রক্রিয়া (Destructive distillation of Coal) **ঃ**
প্রকৃতিতে যে কয়লা পাওয়া যায় তার মধ্যে কার্বনের সঙ্গে নানারকম জৈব যৌগ ও নাইট্রোজেন, হাইড্রোজেন, সালফার প্রভৃতি মৌল মিশ্রিত থাকে।

(i) ফায়ার-ক্লে দ্বারা তৈরি কতকগুলি বড়ো রিটর্টের মধ্যে **বিটুমিনাস কয়লার গুঁড়ো ভর্তি করে** রিটর্টগুলিকে সারি সারি চুল্লির মধ্যে বসিয়ে **প্রোডিউসার গ্যাসের সাহায্যে 1000°C—1200°C উষ্ণতায় বাতাসের অবর্তমানে উত্তপ্ত করা হয়।** আবদ্ধ রিটর্টের মধ্যে বাতাসের অনুপস্থিতিতে এইভাবে কয়লার **অন্তর্ধূমপাতন** (Destructive distillation) করার ফলে কয়লার মধ্যস্থ পদার্থগুলি বিয়োজিত হয়ে তরল এবং **গ্যাসীয় পদার্থ** উৎপন্ন করে। এই উৎপন্ন পদার্থগুলি গ্যাসীয় অবস্থায় খাড়াভাবে বসানো একটি নির্গম-নলের মধ্য দিয়ে একটি আংশিক জলপূর্ণ পাত্রের মধ্যে যায়। খাড়া নলটিকে **উত্থান নল** (Ascension pipe) ও জলপূর্ণ পাত্রটিকে **হাইড্রলিক মেইন** (Hydraulic main) বলে। **হাইড্রলিক মেইনে কম উদ্‌বায়ী পদার্থগুলি 60°C উষ্ণতায় শীতল হয়ে ঘনীভূত হয়। ফলে কিছু আলকাতরা ও অ্যামোনিয়া দ্রব এখানে জমা হয়।**

(ii) হাইড্রলিক মেইন থেকে গরম গ্যাস মিশ্রণকে কতকগুলি খাড়াভাবে বসানো পর পর রাখা লোহার নলের মধ্য দিয়ে নিয়ে যাওয়া হয়। এই লোহার নলগুলিকে **বায়ু শীতক** (Air-condenser) বলে। এই নলগুলির ভিতর দিয়ে যাওয়ার সময় গ্যাসমিশ্রণ সাধারণ উষ্ণতায় আসে। ফলে **গ্যাস-মিশ্রণের মধ্যস্থ বেশির ভাগ আলকাতরা ও অ্যামোনিয়া দ্রব ঘনীভূত হয়ে তরল অবস্থায় শীতক নলগুলির নীচে রাখা ট্যাঙ্কের মধ্যে জমা হয়। ট্যাঙ্কের মধ্যে সঞ্চিত তরল পদার্থ দুটি স্তরে পৃথক হয়। নীচের কালো রঙ-এর চটচটে তরলটিকে আলকাতরা** (Coal tar) বলে। এই আলকাতরার উপরে স্বচ্ছ জলীয় অংশ জমা হয়। একে **অ্যামোনিয়া দ্রব** (Ammoniacal liquor) বলে।



চিত্র 7.17 ঃ কোল গ্যাস প্রস্তুতি

(iii) আলকাতরা ও অ্যামোনিয়া দ্রব পৃথক হওয়ার পরেও গ্যাস মিশ্রণে সামান্য CO_2, NH_3, H_2S, HCN, CS_2 প্রভৃতি অশুদ্ধি থেকে যায়। একটি পাম্পের সাহায্যে গ্যাসমিশ্রণকে কোয়ার্জপূর্ণ একটি স্তম্ভের নীচ থেকে উপরের দিকে চালনা করা হয় ও উপর থেকে নীচের দিকে জলের ধারা ফেলা হয়। এখানে বেশির ভাগ CO_2, NH_3 ও H_2S জলে দ্রবীভূত হয়ে গ্যাস মিশ্রণ থেকে অপসারিত হয়। **এর পরও গ্যাস মিশ্রণে H_2S, HCN, সামান্য CO_2 এবং CS_2 ইত্যাদি অশুদ্ধি থেকে যায়।**

(iv) এই অশুদ্ধিগুলি দূর করার জন্য গ্যাসমিশ্রণটিকে **বিশোধক প্রকোষ্ঠের** (purifier) মধ্যে দিয়ে চালনা করা হয়। এই প্রকোষ্ঠ ছোটো স্তম্ভের মতো। এর মধ্যে কয়েকটি তাকে **আর্দ্র ফেরিক অক্সাইড এবং কলিচুন** রাখা থাকে। এইগুলির উপর দিয়ে যাওয়ার সময় **কলিচুন, গ্যাস মিশ্রণের মধ্যস্থ সমস্ত CO_2 ও কিছু HCN, CS_2 ও H_2S-কে শোষণ করে এবং ফেরিক অক্সাইড বাকি H_2S, HCN-কে শোষণ করে নেয়।**

$$Ca(OH)_2 + CO_2 = CaCO_3 + H_2O$$
$$Ca(OH)_2 + 2H_2S = Ca(HS)_2 + 2H_2O$$
$$Ca(HS)_2 + CS_2 = CaCS_3 + H_2S$$
$$2Fe(OH)_3 + 3H_2S = Fe_2S_3 + 6H_2O$$
$$2Fe(OH)_3 + 6HCN = 2Fe(CN)_3 + 6H_2O$$

হাইড্রোসায়ানিক অ্যাসিডকে ফেরাস সালফেট ও কস্টিক সোডা দ্রবণের মিশ্রণের মধ্যে চালিত করেও দূর করা হয়।

$$FeSO_4 + 6HCN + 6NaOH = Na_4[Fe(CN)_6] + Na_2SO_4 + 6H_2O$$

[আর্দ্র ফেরিক অক্সাইড H_2S-কে শোষণ করে Fe_2S_3-তে পরিণত হয়। তখন আর H_2S-কে শোষণ করতে পারে না। এই অবস্থায় একে **স্পেন্ট আয়রন অক্সাইড** বলে। স্পেন্ট আয়রন অক্সাইডকে আবার কার্যক্ষম করে তোলা যায়। স্পেন্ট আয়রন অক্সাইডকে খোলা বাতাসের মধ্যে রেখে দিলে বাতাসের O_2-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে আবার $Fe(OH)_3$-এ পরিণত হয়। তখন একে আবার H_2S শোষণ কাজে লাগানো যায়।

$$2Fe_2S_3 + 3O_2 = 4Fe(OH)_3 + 6S$$

স্পেন্ট আয়রন অক্সাইডকে সালফারের উৎস রূপে কাজে লাগানো যায়।

চুন যখন গ্যাস শোষণ করার ক্ষমতা হারায় তখন তাকে **স্পেন্ট লাইম** বলে।]

(v) CS_2 কিন্তু এই প্রক্রিয়ায় সম্পূর্ণভাবে দূর হয় না। CS_2-কে সম্পূর্ণভাবে দূর করার জন্য অনেক সময় গ্যাসমিশ্রণকে 450°C উষ্ণতায় উত্তপ্ত নিকেলের উপর দিয়ে চালনা করা হয়। এর ফলে গ্যাসমিশ্রণের মধ্যে যে H_2 থাকে, CS_2-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে কার্বন এবং H_2S উৎপন্ন করে। উৎপন্ন H_2S-কে আর্দ্র ফেরিক অক্সাইড বা চুন দ্বারা শোষিত করা হয়।

$$CS_2 + 2H_2 = 2H_2S + C$$

(vi) অশুদ্ধিগুলি এইভাবে দূর করার পর বড়ো বড়ো গ্যাস আধারে (Gas-holder) কোল গ্যাসকে সংগ্রহ করা হয় এবং দরকার মতো বিভিন্ন জায়গায় সরবরাহ করা হয়। **যে পরিমাণ কয়লা অন্তর্ধূম পাতন করা হয় তার 17% কোল গ্যাস পাওয়া যায়।**

● **কোল গ্যাসের উপাদান** (Composition of Coal gas) **:**

কোল গ্যাসের মধ্যে যে সমস্ত গ্যাস মিশ্রিত অবস্থায় থাকে, সেগুলিকে মোটামুটি তিন শ্রেণিতে ভাগ করা হয়।

(1) আলোক উৎপাদক : যে সমস্ত হাইড্রোকার্বন পোড়ালে আলো উৎপন্ন করে—**ইথিলিন, অ্যাসিটিলিন ও বেনজিন বাষ্প** (2·5%–5%)।

(2) তাপ উৎপাদক : যে সমস্ত গ্যাস পুড়ে তাপ উৎপন্ন করে তা হল—

(i) হাইড্রোজেন (48%–55%), **(ii) মিথেন** (26%–35%), **(iii) কার্বন মনোক্সাইড** (4%–11%)।

[কার্বন মনোক্সাইড অত্যন্ত বিষাক্ত গ্যাস। 800 আয়তন বায়ুর মধ্যে মাত্র 1 আয়তন CO উপস্থিত থাকলে 30 মিনিটের মধ্যেই মৃত্যু হয়। মৃত্যুর কারণ হল, CO গ্যাস নিঃশ্বাসের সঙ্গে ফুসফুসে গিয়ে রক্তের হিমোগ্লোবিনের সঙ্গে যুক্ত হয়ে সুস্থিত যৌগ কার্বক্সি হিমোগ্লোবিনে পরিণত হয়। এর ফলে শরীরের বিভিন্ন স্থানের টিসুগুলিতে O_2 সরবরাহ বন্ধ হয়ে যায়, ফলে মৃত্যু হয়। কোল গ্যাসের মধ্যে CO-এর পরিমাণ (4%–11%) তাই কোল গ্যাস বিষাক্ত।]

(3) অশুদ্ধি : (i) নাইট্রোজেন (2%–12%), **(ii) কার্বন ডাইঅক্সাইড** (0%–3%), **(iii) অক্সিজেন** (0%–1·5%)।

● **কোল গ্যাস উৎপাদনে প্রাপ্ত উপজাত দ্রব্য এবং এদের ব্যবহার** (By-products in the preparation of Coal gas and their uses) **:**

(1) আলকাতরা (Coal tar) **:** হাইড্রলিক মেইন এবং চৌবাচ্চায় নীচের স্তরে সঞ্চিত কালো রঙের চটচটে দুর্গন্ধযুক্ত পদার্থ হল আলকাতরা, এটি নানারকম জৈব যৌগের উৎস।

ব্যবহার : (i) কাঠের গায়ে প্রলেপ দিয়ে পচন রোধ করতে, **(ii)** বেনজিন, ন্যাপথলিন, কার্বলিক অ্যাসিড প্রভৃতির পণ্য-উৎপাদনে, **(iii)** নানারকম রং, ওষুধ ও স্যাকারিন প্রস্তুতিতে, **(iv)** রাস্তা তৈরি করার জন্য পিচ প্রস্তুতিতে।

(2) অ্যামোনিয়া দ্রব্য (Ammoniacal liquor) **ঃ** হাইড্রলিক মেইন এবং চৌবাচ্চায় আলকাতরার উপরে যে স্বচ্ছ জলীয় অংশ জমা হয় তাই হল অ্যামোনিয়া দ্রব্য। এই দ্রবণে অ্যামোনিয়াম হাইড্রোসালফাইড, অ্যামোনিয়াম লবণ ও অ্যামোনিয়া দ্রবীভূত থাকে। একে চুনের সঙ্গে ফোটালে NH_3 পাওয়া যায়।

ব্যবহার ঃ (i) অ্যামোনিয়া প্রস্তুত করতে, **(ii)** অ্যামোনিয়াম সালফেট, ইউরিয়া (সার) প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত হয়।

(3) গ্যাস কার্বন (Gas Carbon) **ঃ** রিটর্টের ভিতরের দেয়ালে কালো গুঁড়োর আকারে পাওয়া যায়।

ব্যবহার ঃ তড়িদ্দ্বার প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত হয়।

(4) কোক (Coke) **ঃ** বিক্রিয়ার পর অবশেষরূপে রিটর্টের মধ্যে পাওয়া যায়।

ব্যবহার ঃ জ্বালানি রূপে ধাতুনিষ্কাশনে বিজারক রূপে, কৃত্রিম জ্বালানি গ্যাস (প্রডিউসার গ্যাস, ওয়াটার গ্যাস) প্রস্তুতিতে কোক ব্যবহৃত হয়।

(5) অব্যবহার্য চুন ঃ সার হিসাবে ব্যবহৃত হয়।

(6) অব্যবহার্য-আয়রন অক্সাইড ঃ বিশোধক প্রকোষ্ঠে পাওয়া যায়। বায়ুর মধ্যে দহন করলে এর থেকে SO_2 পাওয়া যায় যা H_2SO_4-এর পণ্য উৎপাদনে ব্যবহৃত হয়।

7.15. প্রডিউসার গ্যাস [Producer gas]

প্রডিউসার গ্যাস আসলে হল নাইট্রোজেন এবং কার্বন মনোক্সাইডের মিশ্রণ। এর সাথে যুক্ত সামান্য কার্বন ডাইঅক্সাইড গ্যাস থাকে। শ্বেততপ্ত কোক-স্তরের নীচ থেকে উপরের দিকে নিয়ন্ত্রিত পরিমাণে বায়ু প্রবাহ করলে প্রডিউসার গ্যাস পাওয়া যায়।

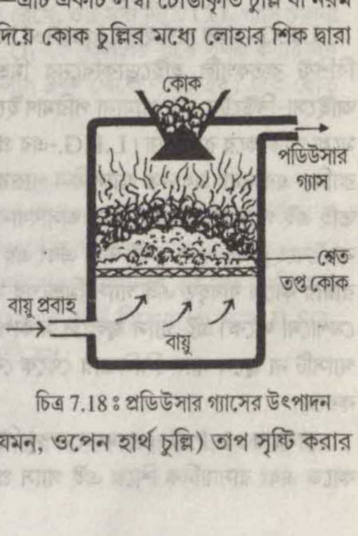
বিক্রিয়া ঃ শ্বেততপ্ত কোকের নীচের স্তরটি বেশি পরিমাণ বায়ুর সংস্পর্শে আসে বলে নীচের স্তরের কোকের পূর্ণদহন ঘটে এবং বায়ুর O_2 এর সাথে কোকের বিক্রিয়ায় CO_2 গ্যাস উৎপন্ন হয়। এইভাবে উৎপন্ন CO_2 গ্যাস উত্তপ্ত কোকের স্তম্ভের উপরের দিকে যাওয়ার সময় কোক দ্বারা বিজারিত হয়ে কার্বন মনোক্সাইডে পরিণত হয়।

$$\text{(i)} \quad C + O_2 \rightarrow CO_2 + 97 \text{ k cal}$$
$$\text{(ii)} \quad CO_2 + C \rightleftharpoons 2CO - 38{\cdot}6 \text{ k cal}$$

দ্বিতীয় বিক্রিয়াটির সাম্য নির্ভর করে উষ্ণতার উপর। সম্মুখ বিক্রিয়াটি তাপগ্রাহী হওয়ার জন্য, উচ্চ উষ্ণতায় (1000°C-এর উপর) বিক্রিয়াটি সম্মুখ দিকে ঘটতে থাকে, যার ফলে কার্বন মনোক্সাইড গ্যাস উৎপন্ন হতে থাকে। কিন্তু উষ্ণতা 1000°C-এর নীচে নেমে গেলে, CO_2-এর উৎপাদন বেশি হতে থাকে। যেহেতু **(i)** নং বিক্রিয়াটি তাপমোচী বিক্রিয়া, সুতরাং **(i)** নম্বর বিক্রিয়া দ্বারা উৎপন্ন তাপই **(ii)** নম্বর বিক্রিয়া দ্বারা শোষিত হয় এবং প্রডিউসার চুল্লির মধ্যে CO উৎপাদনের জন্য প্রয়োজনীয় তাপের ঘাটতি হয় না।

উৎপাদন ঃ প্রডিউসার গ্যাস যে প্ল্যান্টে উৎপন্ন করা হয় তাকে **প্রডিউসার** বলা হয়—এটি একটি লম্বা চোঙাকৃতি চুল্লি যা নরম ইস্পাতে দ্বারা তৈরি। উপরের একটি কাপ এবং কোণ ব্যবস্থার সাহায্যে প্রবেশ পথ দিয়ে কোক চুল্লির মধ্যে লোহার শিক দ্বারা তৈরি জালির উপর ফেলা হয় এবং অগ্নিসংযোগ করে নীচের একটি নলের সাহায্যে বায়ুপ্রবাহ চালনা করা হয়। লোহার জালির উপর-নীচের অংশের কোক শ্বেততপ্ত হয়ে ওঠে এবং বায়ুর O_2 সাথে যুক্ত হয়ে CO_2 উৎপন্ন করে। এইভাবে উৎপন্ন CO_2 উপরের দিকে গেলে অতিরিক্ত উত্তপ্ত কোক দ্বারা বিজারিত হয়ে কার্বন মনোক্সাইডে পরিণত হয়। বায়ুর মধ্যস্থ N_2 গ্যাস কোনো বিক্রিয়া না করে উৎপন্ন CO সাথে মিশে উপরের নির্গম নল দিয়ে বেরিয়ে যায়। এই দুই গ্যাসের মিশ্রণই হল প্রেডিউসার গ্যাস।

প্রডিউসার গ্যাস হল প্রায় 34·7% CO এবং 63% N_2-এর মিশ্রণ। প্রডিউসার গ্যাসের মধ্যে বেশি পরিমাণে N_2 গ্যাস উপস্থিত থাকার জন্য এর **তাপন মূল্য** অনেক কম—তাই এই গ্যাস যেখানে উৎপন্ন করা হয় সেখানেই জ্বালানির জন্য ব্যবহার করা উচিত।



চিত্র 7.18 ঃ প্রডিউসার গ্যাসের উৎপাদন

ব্যবহার ঃ প্রডিউসার গ্যাস হল সবচেয়ে সস্তা কৃত্রিম জ্বালানি। বিভিন্ন চুল্লিতে (যেমন, ওপেন হার্থ চুল্লি) তাপ সৃষ্টি করার জন্য ব্যবহার করা হয়।

7.16. ওয়াটার গ্যাস [Water gas]

ওয়াটার গ্যাস হল সমআয়তনের **হাইড্রোজেন এবং কার্বন মনোক্সাইডের মিশ্রণ**। শ্বেততপ্ত কোকের (1400°C) উপর দিয়ে স্টিম চালনা করে এই জ্বালানি গ্যাস প্রস্তুত হয়। $C + H_2O$ (স্টিম) $\rightarrow CO + H_2 \ -29$ k cal

900°C-এর কম উষ্ণতায় কিন্তু CO এর পরিবর্তে CO_2 গ্যাস উৎপন্ন হয়।

$$C + 2H_2O \text{ (স্টিম)} \rightarrow CO_2 + 2H_2 \ -19 \text{ k cal}$$

এই দ্বিতীয় বিক্রিয়াটি তাপগ্রাহী প্রকৃতির হওয়ার ফলে কোকের উষ্ণতা কমে যায় ফলে CO-এর পরিবর্তে CO_2 উৎপাদন বেশি হতে থাকে। উষ্ণতা কমতে কমতে শেষে বিক্রিয়া বন্ধ হয়ে যায়। এই কারণে চুল্লির উষ্ণতা যেন কোনো অবস্থাতেই 1000°C-এর কম না হতে পারে, তাই ওয়াটার গ্যাস প্রস্তুতির সময়—সামান্য সময়ের জন্য স্টিম চালনার পরই স্টিম প্রবাহ বন্ধ রেখে কিছু সময়ের জন্য বায়ুপ্রবাহ চালনা করা হয়। এর ফলে উষ্ণতা যা কমে যায় তা আবার 1400°C-এ উঠে যায়। এই উষ্ণতায় এলে আবার কোকের উপর দিয়ে স্টিম চালিত করা হয়। এর ফলে চুল্লিতে স্টিম চালনার সময় ওয়াটার গ্যাস এবং বায়ুপ্রবাহ চালনার সময় প্রডিউসার গ্যাস উৎপন্ন হতে থাকে।



চিত্র 7.19 ঃ ওয়াটার গ্যাসের উৎপাদন

প্রস্তুতি ঃ ফায়ার ব্রিকের লাইনিং দেওয়া চোঙাকৃতি একটি চুল্লির মধ্যে উপরের কাপ এবং কোণ ব্যবস্থাসহ একটি প্রবেশ দ্বারের মধ্য দিয়ে চুল্লির মধ্যে কোক ভর্তি করা হয়। এর পর কোকে আগুন ধরিয়ে ওর মধ্য দিয়ে তীব্র বেগে বায়ুপ্রবাহ করা হয়। এর ফলে চুল্লির উষ্ণতা প্রায় 1400°C-এ উঠে যায়। এখন বায়ুপ্রবাহ বন্ধ করে শ্বেততপ্ত কোকের উপর দিয়ে স্টিম চালনা করা হয়। এই প্রক্রিয়া কিছু সময় পর পরই সম্পাদন করা হয়। 3 মিনিট ধরে স্টিম চালনার সময় ওয়াটার গ্যাস উৎপন্ন হয়। এই গ্যাসকে সংগ্রহ করে স্টিম প্রবাহ বন্ধ রেখে আবার এক মিনিটের জন্য বায়ুপ্রবাহ করা হয়। এর ফলে চুল্লির উষ্ণতা বেড়ে আবার 1400°C হয়। এই অবস্থায় বায়ুপ্রবাহ বন্ধ রেখে আবার স্টিম চালনা করা হয়। চুল্লিতে উৎপন্ন এই প্রডিউসার গ্যাস স্টিম উৎপন্নে ব্যয়িত হয়।

ওয়াটার গ্যাসের মোটামুটি গঠন হল 45%–50% H_2 গ্যাস, 40%–50% CO গ্যাস, 3%–4% CO_2 গ্যাস এবং 3%–4% N_2 গ্যাসের মিশ্রণ। **ওয়াটার গ্যাসের তাপন ক্ষমতা বেশি।**

ব্যবহার ঃ বিভিন্ন শিল্পে তাপ সৃষ্টি করার কাজে ওয়াটার গ্যাস ব্যবহৃত হয়।

7.17. তরলীকৃত পেট্রোলিয়াম গ্যাস [L.P.G.]

L.P.G.—এর অর্থ হল Liquefied Petroleum Gas অর্থাৎ **তরলীকৃত পেট্রোলিয়াম গ্যাস**। L.P.G. হল 3–4 কার্বন পরমাণু বিশিষ্ট কতকগুলি হাইড্রোকার্বনের মিশ্রণ—এগুলি হল, **প্রোপেন** (C_3H_8), **প্রোপিন** (C_3H_6), ***n*-বিউটেন** (C_4H_{10}), **আইসো-বিউটেন** এবং সামান্য পরিমাণ **ইথেন** (C_2H_6)। এই গ্যাসগুলিকে চাপ প্রয়োগে তরলে পরিণত করে স্টিলের সিলিন্ডারের মধ্যে ভর্তি করে রাখা হয়। L.P.G.-এর প্রধান উৎস হল প্রাকৃতিক গ্যাস এবং পেট্রোলিয়ামের শোধন ও ক্র্যাকিং। পেট্রোলিয়ামের ক্র্যাকিং-এর সময় প্রধানত অ্যালকিন পাওয়া যায়। L.P.G. এই মধ্যস্থ হাইড্রোকার্বনগুলি হল বর্ণহীন, গন্ধহীন কিন্তু অত্যন্ত দাহ্য। তাই এই গ্যাস ব্যবহারের সময় অসাবধানতার জন্য যদি সিলিন্ডার থেকে গ্যাস লিক করে বেরিয়ে আসে—তা বোঝা সম্ভব হয় না। যেহেতু এই গ্যাস খুবই দাহ্য এবং এর দাহিকা শক্তিও খুব বেশি, তাই যেকোনো সময় মারাত্মক দুর্ঘটনা ঘটে যেতে পারে বলে রান্নার কাজে ব্যবহৃত এই গ্যাস মিশ্রণের সাথে দুর্গন্ধযুক্ত সালফার ঘটিত যৌগ **মার্কাপটান**, যেমন, C_2H_5SH খুব কম পরিমাণে মেশানো থাকে। এই গ্যাস জ্বললে মার্কাপটানের কোনো গন্ধ পাওয়া যায় না, কারণ ওই দুর্গন্ধযুক্ত গ্যাসগুলিও পুড়ে যায়, কিন্তু গ্যাসটি না জ্বলে গ্যাস সিলিন্ডার থেকে বেরিয়ে এলে, মার্কাপটানের তীব্র দুর্গন্ধ পাওয়া যায়; তখনই বোঝা যায় যে গ্যাস লিক করছে।

ব্যবহার ঃ L.P.G.-এর দহন সম্পূর্ণ হয়—অদাহিত কোনো কার্বন কণা থাকে না—তাই দূষণমুক্ত জ্বালানি রূপে বাড়িতে রান্নার কাজে এবং রাসায়নিক শিল্পে এই গ্যাস প্রচুর ব্যবহৃত হয়।

• মাটির সার •

7.18. ইউরিয়া [(Urea) NH_2CONH_2]

ইউরিয়ার শিল্পোৎপাদন দুটি বিক্রিয়ার উপর নির্ভর করে।

(i) কার্বন ডাইঅক্সাইডের সাথে অ্যামোনিয়ার বিক্রিয়ায় প্রথমে **অ্যামোনিয়াম কার্বামেট** উৎপন্ন হয়।

$$CO_2 + 2NH_3 \rightleftharpoons NH_4CO_2NH_2 \qquad \Delta H = -37 \text{ k cal}$$

(ii) উৎপন্ন অ্যামোনিয়াম কার্বামেট বিয়োজিত হয়ে ইউরিয়া এবং জলে পরিণত হয়।

$$NH_4CO_2NH_2 \rightleftharpoons \underset{\text{ইউরিয়া}}{NH_2CONH_2} + H_2O \qquad \Delta H = +10 \text{ k cal}$$

যেহেতু দুটি বিক্রিয়াই উভমুখী সুতরাং বিক্রিয়ার সাম্য উষ্ণতা, চাপ এবং বিক্রিয়কের গাঢ়ত্বের উপর নির্ভর করবে। অ্যামোনিয়া এবং কার্বন ডাইঅক্সাইড গ্যাসকে 3 ঃ 1 মোল অনুপাতে মিশিয়ে 150—200 atm চাপে 170ºC—190ºC উষ্ণতায় একটি অটোক্লেভ যন্ত্রের মধ্যে উত্তপ্ত করলে NH_3 এবং CO_2-এর মধ্যে বিক্রিয়া ঘটে অ্যামোনিয়াম কার্বামেট উৎপন্ন হয়।

$$2NH_3 + CO_2 \rightarrow NH_4COONH_2 \qquad \Delta H = -37 \text{ k cal}$$

এইবার চাপ কমালে কার্বামেট যৌগটি বিয়োজিত হয়ে ইউরিয়া এবং জলে পরিণত হয়।

$$NH_4COONH_2 \rightarrow \underset{\text{ইউরিয়া}}{NH_2CONH_2} + H_2O \qquad \Delta H = +10 \text{ k cal}$$

ব্যবহার ঃ কৃষিকাজে নাইট্রোজেনঘটিত সার রূপে প্রচুর ব্যবহৃত হয়। এই যৌগে N_2-এর পরিমাণ 47%, যা অন্যান্য N_2 ঘটিত সারের চেয়ে এর মধ্যে N_2-এর পরিমাণ বেশি।

এই সারটি জলাকর্ষী বলে মাটিতে সহজেই চারদিকে ছড়িয়ে যায়। এর আর একটি বিশেষ গুণ হল এই যে অন্যান্য N_2 ঘটিত সারগুলির মতো এটি মাটির অম্লত্ব বাড়ায় না।

7.19. অ্যামোনিয়াম সালফেট [(Ammonium Sulphate) $(NH_4)_2SO_4$]

(i) কোল গ্যাসের শিল্পোৎপাদনে উপজাত দ্রব্যরূপে যে স্বচ্ছ তরল পদার্থ পাওয়া যায় তাকে **অ্যামোনিয়াক্যাল লিকার** বলা হয়। এটি হল অ্যামোনিয়া, অ্যামোনিয়াম কার্বনেট, অ্যামোনিয়াম বাইসালফাইড প্রভৃতি লবণের জলীয় দ্রবণ। এই তরলের প্রতি লিটারে 17 g অ্যামোনিয়া থাকে। এই তরলকে সংগ্রহ করে এর সঙ্গে চুন যোগ করে তরলটির মধ্য দিয়ে স্টিম চালনা করে উত্তপ্ত করা হয়। এর ফলে বিক্রিয়া ঘটে অ্যামোনিয়া গ্যাস নির্গত হয়। নির্গত অ্যামোনিয়া গ্যাসকে লেডের লাইনিং দেওয়া একটি ট্যাঙ্কের মধ্যে রাখা 60% H_2SO_4 দ্রবণের মধ্য দিয়ে চালনা করার পর দ্রবণটিকে শীতল করলে অ্যামোনিয়াম সালফেটের সাদা রঙ-এর কেলাস দ্রবণ থেকে পৃথক হয়। একে ধৌত করার পর শুষ্ক করে সংগ্রহ করা হয়। $2NH_3 + H_2SO_4 = (NH_4)_2SO_4$

(ii) **জিপসাম থেকে ঃ** অ্যামোনিয়ার জলীয় দ্রবণে জিপসাম চূর্ণকে প্রলম্বিত অবস্থায় রেখে, ওর মধ্য দিয়ে CO_2 গ্যাস চালনা করলে অ্যামোনিয়াম সালফেট এবং জলে অদ্রাব্য ক্যালশিয়াম কার্বনেট উৎপন্ন হয়। $CaCO_3$-কে ফিলটার করে পৃথক করার পর দ্রবণটিকে গাঢ় করে ধীরে ধীরে শীতল করলে সাদা রঙের অ্যামোনিয়াম সালফেটের কেলাস দ্রবণ থেকে পৃথক হয়। একে ধৌত করে শুষ্ক করার পর সংগ্রহ করা হয়।

$$2NH_3 + CO_2 + H_2O = (NH_4)_2CO_3$$
$$CaSO_4 + (NH_4)_2CO_3 = CaCO_3\downarrow + (NH_4)_2SO_4$$

(iii) হেবার পদ্ধতিতে উৎপন্ন NH_3 গ্যাসকে সরাসরি সালফিউরিক অ্যাসিডে চালনা করলে অ্যামোনিয়াম সালফেট দ্রবণ পাওয়া যায়। এই দ্রবণকে গাঢ় করে ধীরে ধীরে শীতল করলে অ্যামোনিয়াম সালফেট কেলাস পৃথক হয়। একে সংগ্রহ করা হয়।

ব্যবহার ঃ অ্যামোনিয়াম সালফেট হল ভারতে সর্বাধিক ব্যবহৃত সার। সিন্ধ্রির ফার্টিলাইজার কারখানায় এই সার তৈরি করা হয়। এর একটি ত্রুটি হল অনেকদিন ধরে ক্রমাগত এই সার ব্যবহার করলে $(NH_4)_2SO_4$-এর আর্দ্র বিশ্লেষণের ফলে H_2SO_4 উৎপন্ন হয় যার ফলে মাটির অম্লত্ব বেড়ে যায়, ফলে উপকারের পরিবর্তে ফসলের ক্ষতি হয়।

7.20. সুপার ফসফেট অফ লাইম [Super Phosphate of Lime]

প্রকৃতির মধ্যে যে ফসফেট যৌগগুলি পাওয়া যায় তাদের প্রায় সবগুলির মধ্যেই ক্যালশিয়াম ফসফেট থাকে। কিন্তু ক্যালশিয়াম ফসফেট জলে অদ্রাব্য তাই সার রূপে একে ব্যবহার করা যায় না।

প্রস্তুতি ঃ একটি লোহার পাত্রের মধ্যে **অ্যাপেটাইট** এবং **ফসফোরাইট** আকরিক (যেগুলির মধ্যে ট্রাই-ক্যালশিয়াম ফসফেট থাকে) চূর্ণ নিয়ে ওর সাথে 60—70% গাঢ় H_2SO_4 যোগ করে ওই পদার্থগুলিকে একটি ঘূর্ণায়মান আলোড়কের সাহায্যে খুব ভাল করে মেশান হয়। কিছুক্ষণের মধ্যেই অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রিয়া আরম্ভ হয়ে যায়। অ্যাসিডের সাথে ওই খনিজগুলির বিক্রিয়ায় **মনোক্যালশিয়াম ফসফেট বা প্রাইমারি ক্যালশিয়াম ফসফেট ও ক্যালশিয়াম সালফেট** উৎপন্ন হয়। এইভাবে উৎপন্ন মনোক্যালশিয়াম ফসফেট এবং ক্যালশিয়াম সালফেটের মিশ্রণকেই সুপার ফসফেট অফ লাইম বলা হয়।

$$Ca_3(PO_4)_2 + 2H_2SO_4 + 4H_2O = Ca(H_2PO_4)_2 + 2(CaSO_4, 2H_2O)$$

নাইট্রোজেন ঘটিত সুপার ফসফেট হল, সুপার ফসফেটের সাথে অ্যামোনিয়ার গাঢ় জলীয় দ্রবণের মিশ্রণ। এর ফলে সুপার ফসফেটের মধ্যে কিছু অবিকৃত H_2SO_4 থাকলে, তা অ্যামোনিয়া দ্বারা প্রশমিত হয়—এর ফলে এই সার মাটিতে দিলে মাটির অম্লত্ব বাড়ায় না এবং যে বস্তার মধ্যে রাখা হয় তা অ্যাসিড দ্বারা নষ্ট হতে পারে না। এই সার থেকে মাটি নাইট্রোজেন এবং ফসফরাস উভয়ই পেতে পারে।

ট্রিপল সুপার ফসফেট তৈরি করা হয় খনিজ অ্যাপেটাইট বা ফসফরাইটের সঙ্গে H_2SO_4-এর পরিবর্তে ফসফরিক অ্যাসিডের বিক্রিয়া দ্বারা। এই জাতীয় সুপার ফসফেটে প্রায় 20% P_4O_{10} থাকে।

• সিরামিকস •

7.21. পোর্টল্যান্ড সিমেন্ট [Portland Cement]

সিমেন্ট হল খুব সূক্ষ্মভাবে চূর্ণ করা ক্যালশিয়াম সিলিকেট এবং অ্যালুমিনিয়াম সিলিকেটের মিশ্রণ, যার মধ্যে সামান্য পরিমাণে জিপসাম চূর্ণ মেশানো থাকে এবং যার সাথে জল যোগ করলে কিছুক্ষণের মধ্যেই কঠিন হয়ে যায়।

পোর্টল্যান্ড সিমেন্টের গঠন ঃ পোর্টল্যান্ড সিমেন্টের মধ্যে মোটামুটি নীচের পদার্থগুলি থাকে—**চুন** (CaO) 50–60%, **ম্যাগনেশিয়াম অক্সাইড** (MgO) 2–3%, **সিলিকা** (SiO_2) 20–25%, **ফেরিক অক্সাইড** 1–2%, **অ্যালুমিনা** (Al_2O_3) 5–10% এবং **সালফার ট্রাইঅক্সাইড** (SO_3) 1–2%।

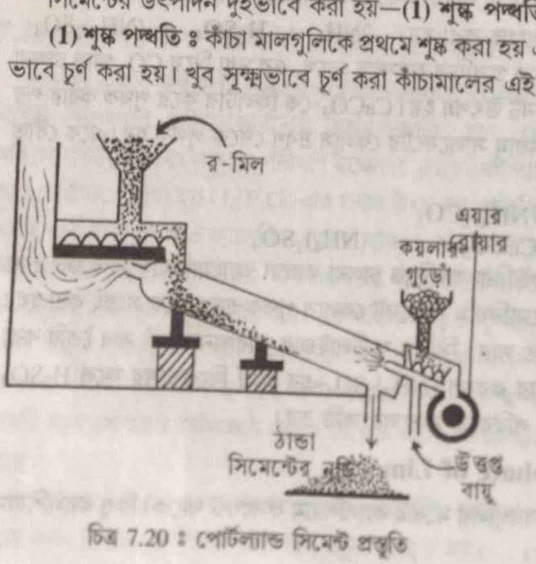
প্রয়োজনীয় কাঁচামাল (Raw materials) ঃ সিমেন্ট শিল্প প্রস্তুতিতে প্রয়োজনীয় কাঁচামালগুলি হল—

(1) চুনাপাথর $CaCO_3$, **(2)** কাদা যার মধ্যে সিলিকা এবং অ্যালুমিনা উপস্থিত থাকে, **(3)** জিপসাম $CaSO_4, 2H_2O$। এগুলি ছাড়া সামান্য পরিমাণ ম্যাগনেশিয়া (MgO), আয়রন অক্সাইড (Fe_2O_3)-এর প্রয়োজন ঘটে সিমেন্টকে চাহিদা মতো রঙে রঞ্জিত করার জন্য।

● সিমেন্টের শিল্পোৎপাদন ঃ

সিমেন্টের উৎপাদন দুইভাবে করা হয়—**(1) শুষ্ক পদ্ধতিতে** এবং **(2) সিক্ত পদ্ধতিতে।**

(1) শুষ্ক পদ্ধতি ঃ কাঁচা মালগুলিকে প্রথমে শুষ্ক করা হয় এবং প্রয়োজনীয় অনুপাতে ওইগুলিকে মিশিয়ে মিশ্রণটিকে খুব সূক্ষ্ম ভাবে চূর্ণ করা হয়। খুব সূক্ষ্মভাবে চূর্ণ করা কাঁচামালের এই মিশ্রণকে **র-মিল** বলা হয়।



চিত্র 7.20 ঃ পোর্টল্যান্ড সিমেন্ট প্রস্তুতি

কাত করা একটি ঘূর্ণায়মান চুল্লির (Rotary furnace) উপরের দিকে থাকা একটি স্ক্রু-বাহক যুক্ত হপারের মধ্য দিয়ে সূক্ষ্ম ভাবে চূর্ণীকৃত কাঁচামালের মিশ্রণ অর্থাৎ র-মিলকে চুল্লির মধ্যে ফেলা হয়। চুল্লির নীচের দিক থেকে এয়ার ব্লোয়ারের সাহায্যে কয়লার গুঁড়োকে চুল্লির মধ্যে পাঠিয়ে আগুন ধরানো হয়—এর ফলে চুল্লির নীচের অংশের উষ্ণতা প্রায় 1600°C-এ পৌঁছায়। উপরের অংশে চুল্লির উষ্ণতা 1000–1100°C থাকে। উপরের অংশ থেকে চুল্লির মধ্য দিয়ে নীচের অংশে র-মিলের আসতে প্রায় 2–3 ঘন্টা লাগে। চুল্লির নীচের অংশের উচ্চ উষ্ণতায় এলে র-মিল গলে গিয়ে ছোটো ছোটো ধূসর বর্ণের বিভিন্ন আকারের নুড়িতে পরিণত হয়ে একটি নির্গম নল দিয়ে চুল্লির বাইরে এস পড়ে।

বিক্রিয়া ঃ চুল্লির উপরের অংশে (750°C—850°C) উষ্ণতায় র-মিলের মধ্যস্থ জল সব বাষ্পীভূত হয়ে যায়।

চুল্লির মাঝামাঝি অংশে (850°C—950°C) উষ্ণতায় চুনাপাথর (CaO) এবং CO_2-তে বিয়োজিত হয়।

চুল্লির নীচের অংশে (1500°C—1600°C) উষ্ণতায় এইভাবে উৎপন্ন চুন, র-মিলের মধ্যস্থ অ্যালুমিনা এবং সিলিকার সাথে বিক্রিয়ায় ক্যালশিয়াম সিলিকেট এবং অ্যালুমিনেটে পরিণত হয় এবং উচ্চ উষ্ণতায় গলে গিয়ে নুড়ির আকার পায়।

এইভাবে প্রাপ্ত সিমেন্ট নুড়িগুলির সাথে 2—3% জিপসাম যোগ করে পেষণ যন্ত্রে ওই মিশ্রণকে খুব সূক্ষ্মভাবে চূর্ণ করে পাউডারে পরিণত করা হয়। এই পাউডারই **পোর্টল্যান্ড সিমেন্ট** নামে পরিচিত।

বিক্রিয়ার সমীকরণ— $2CaO + SiO_2 \rightarrow 2CaO, SiO_2$ (ডাই ক্যালশিয়াম সিলিকেট)

$3CaO + SiO_2 \rightarrow 3CaO, SiO_2$ (ট্রাই ক্যালশিয়াম সিলিকেট)

$2CaO + Al_2O_3 \rightarrow 2CaO, Al_2O_3$ (ডাই ক্যালশিয়াম অ্যালুমিনেট)

$4CaO + Al_2O_3 + Fe_2O_3 \rightarrow 4CaO, Al_2O_3, Fe_2O_3$ (ট্রাই ক্যালশিয়াম-অ্যালুমিনোফেরাইট)

লাইমস্টোন ও কাদার মিশ্রণকে খুব সূক্ষ্মভাবে চূর্ণ করে মেশানো হয়। —একটি রোটারি চুল্লিতে 1500–1600°C উষ্ণতায় পোড়ানো হয়→ সিমেন্ট-নুড়ি ক্যালশিয়াম সিলিকেট ($2CaO\ SiO_2$, $3CaO\ SiO_2$) + ক্যালশিয়াম অ্যালুমিনেট $3CaO, Al_2O_3, 2CaO\ Al_2O_3$ —+ জিপসাম $CaSO_4, 2H_2O$→ পোর্টল্যান্ড সিমেন্ট

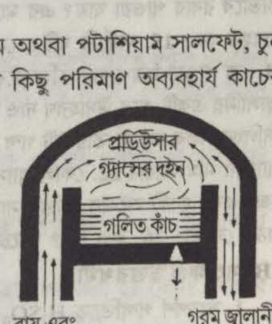
সিমেন্টের জমাট বাঁধা ঃ সিমেন্টে জল যোগ করলে তাপমোচী বিক্রিয়া ঘটে। এই অবস্থায় সিমেন্ট জলের সঙ্গে বিক্রিয়া করে আঠালো পদার্থ উৎপন্ন করে যা ধীরে ধীরে কঠিনে পরিণত হয় এবং —Si—O—Si— এবং —Si—O—Al— শৃঙ্খলবিশিষ্ট ত্রিমাত্রিক গঠন পায় যার ফলে সিমেন্ট কঠিন হয়ে যায়।

7.22. কাচের শিল্পোৎপাদন [Manufacture of Glass]

কাচ হল সিলিকা এবং বিভিন্ন ধাতব সিলিকেটের (কিছু ক্ষেত্রে বোরো সিলিকেট বা অ্যালুমিনো সিলিকেট) মিশ্রণ। কাচ হল অনিয়তাকার, কঠিন পদার্থ এবং ভঙ্গুর। রাসায়নিক দিক দিয়ে কাচ নিষ্ক্রিয় পদার্থ। এটি জল বা অ্যাসিড (হাইড্রোফ্লুওরিক অ্যাসিড ছাড়া) আক্রান্ত হয় না। তবে তীব্র ক্ষার কাচকে আক্রমণ করে।

লাইম সোডা কাচ প্রস্তুতি ঃ কাঁচা মাল—সোডিয়াম বা পটাশিয়াম কার্বনেট বা সোডিয়াম অথবা পটাশিয়াম সালফেট, চুন বা চুনাপাথর এবং সাদা সিলিকা (SiO_2) —এই উপাদানগুলিকে উপযুক্ত অনুপাতে মিশিয়ে কিছু পরিমাণ অব্যবহার্য কাচের **(কিউলেট)** সঙ্গে যোগ করে মিশ্রণটিকে পেষণ যন্ত্রে রেখে গুঁড়ো করা হয়। এই গুঁড়ো মিশ্রণকে **ব্যাচ** (batch) বলা হয়। এই মিশ্রণটিকে ফায়ার ব্রিক্সের আস্তরণ দেওয়া গ্যাস চুল্লির ভেতর রাখা একটি ট্যাঙ্কের মধ্যে রেখে 1400°C উষ্ণতায় মিশ্রণটিকে গলানো হয়। অব্যবহার্য কাচ চার্জের গলনে সাহায্য করে। প্রডিউসার গ্যাস এবং বায়ুর মিশ্রণকে জ্বালিয়ে এই গ্যাসের দহনে উৎপন্ন তাপ দ্বারা মিশ্রণটিকে গলানো হয়। উত্তপ্ত গ্যাসটি চুল্লি থেকে বেরোবার সময় ওই উত্তপ্ত গ্যাসকে তাপ পুনরুদ্ধারের কাজে ব্যবহার করা হয়। চুল্লির মধ্যে গলিত অবস্থায় নীচের বিক্রিয়াগুলি ঘটে—

$$Na_2CO_3 + SiO_2 = Na_2SiO_3 + CO_2\uparrow$$
$$Na_2SO_4 + SiO_2 = Na_2SiO_3 + SO_2\uparrow$$
$$CaCO_3 + SiO_2 = CaSiO_3 + CO_2$$



চিত্র 7.21 ঃ কাচের শিল্পোৎপাদন

সমস্ত CO_2 বেরিয়ে গেলে পর একটি সান্দ্র ও স্বচ্ছ পদার্থ পাওয়া যায়—এটি হল লাইম সোডা কাচ। বিভিন্ন দ্রব্য এই গলিত কাচ থেকে উৎপন্ন করা হয়।

কাচ রঙিন করার জন্য বিশেষ কয়েকটি পদার্থ একটি বিশেষ বর্ণ সৃষ্টির জন্য ব্যবহার করা হয়। এগুলি হল সন্ধিগত ধাতুর অক্সাইড, অথবা মৌল রূপে সালফার, সোনা ইত্যাদি। ধাতুগুলির ক্ষেত্রে ধাতব আয়নগুলি কাচে বিভিন্ন বর্ণের সৃষ্টি করে কিন্তু সোনা, সালফার ইত্যাদি মৌলগুলি গলিত কাচের মধ্যে কলয়ডীয় অবস্থায় বিস্তৃত হয় এবং বিভিন্ন বর্ণের সৃষ্টি করে।

যেমন—কিউপ্রিক অক্সাইড লাল কাচ, ম্যাঙ্গানিজ ডাইঅক্সাইড বেগুনি বর্ণের কাচ, ক্রোমিক অক্সাইড সবুজ বর্ণের কাচ এবং কোবাল্ট অক্সাইট নীল বর্ণের কাচ প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত হয়।

● **কোমলায়ন** (Annealing) ঃ গলিত কাচ স্বাভাবিকভাবে শীতল হয়ে কঠিন হওয়ার সময় বাইরের অংশটি তাড়াতাড়ি শীতল

হয়ে কঠিন অবস্থায় আসে। কাচ তাপের কুপরিবাহী বলে, ভেতরের অংশটি তখনও গলিত অবস্থায় থাকে ফলে ভেতরের অংশটি একটি পীড়নের মধ্যে থাকে। পরে সমস্তটা শীতল হয়ে কঠিন অবস্থায় এলে তাপের সামান্য পার্থক্য হলেই কাচটি ফেটে যায়। তাই কাচের কোমলায়নের প্রয়োজন হয়। কাচের দ্রব্যকে গলনাঙ্কের কম উষ্ণতায় উত্তপ্ত করে, ক্রমশ হ্রাসমান উষ্ণতায় রাখা বিভিন্ন কক্ষের মধ্য দিয়ে খুব ধীরে অতিক্রম করিয়ে কাচ দ্রব্যটিকে ঘরের উষ্ণতায় আনা হয়।

● **বিভিন্ন প্রকারের কাচ ঃ (1) হার্ড গ্লাস**—এটি তৈরি করা হয় ফিউশন মিশ্রণ, সিলিকা, লাইমস্টোন এবং K_2CO_3-এর মিশ্রণকে গলিয়ে। এই কাচ উচ্চ তাপসহ হয়।

(2) অপটিক্যাল কাচ বা **ফ্লিন্ট কাচ**— এটি তৈরি হয় ফিউশন মিকশ্চার, সিলিকা, রেড লেড এবং K_2CO_3 এর মিশ্রণে। এর ঘনত্ব এবং প্রতিসরাঙ্ক বেশি। রাসায়নিক যন্ত্রপাতি প্রস্তুতিতে এই কাচ ব্যবহৃত হয়।

(3) পাইরেক্স কাচ ঃ এটি বোরো সিলিকেট কাচ, যার মধ্যে 12% বোরিক অ্যাসিড, বেশি পরিমাণ সিলিকা ও কম পরিমাণ ক্ষার ধাতু থাকে। রাসায়নিক যন্ত্রপাতি প্রস্তুতিতে এই কাচ ব্যবহৃত হয়।

(4) জেনা কাচ ঃ এটিও বোরো সিলিকেট কাচ। পাইরেক্স কাচের মতোই তবে সিলিকার পরিবর্তে এর কাচে 11% ZnO থাকে পরীক্ষাগারের যন্ত্রপাতি প্রস্তুতিতে এই কাচ লাগে।

অনুশীলনী

[A] অতি সংক্ষিপ্ত উত্তরধর্মী ঃ

1. ওলিয়াম কী? **2.** স্পর্শ পদ্ধতিতে অপটিমাম উষ্ণতা কত? **3.** বেশি উষ্ণতায় H_2SO_4-এর উৎপাদন বাড়বে না কমবে? **4.** হেবার পদ্ধতি দ্বারা NH_3 উৎপাদনে অপটিমাম উষ্ণতা এবং ব্যবহৃত অনুঘটকের নাম করো। **5.** হেবার পদ্ধতি দ্বারা NH_3 উৎপাদনে চাপের কোনো প্রভাব আছে কি? **6.** অসওয়াল্ড পদ্ধতিতে কী অনুঘটক ব্যবহার করা হয়? **7.** অসওয়াল্ড পদ্ধতি দ্বারা HNO_3 উৎপাদনে উষ্ণতার প্রভাব কী? **8.** সলভে পদ্ধতি দ্বারা Na_2CO_3 উৎপাদনের বিক্রিয়াটির সমীকরণ লেখো। **9.** সলভে টাওয়ারে উষ্ণতা কত রাখা হয়? **10.** পলিমার ও মনোমার কাকে বলে? **11.** পলিমারাইজেশন প্রক্রিয়ার সংজ্ঞা লেখো। **12.** নাইলন 6, 6-এর মনোমার কী? **13.** প্রকৃতি থেকে কীভাবে রবার পাওয়া যায়? এর মনোমারের IUPAC নাম কী? **14.** মার্কারি ঘটিত সেল কোনটি ক্যাথোড এবং কোনটি অ্যানোড রূপে ব্যবহৃত হয়? **15.** মার্কারি ঘটিত সেল ও নেলসন সেলের মধ্যে 2টি পার্থক্য লেখো। **16.** তড়িদ্‌বিশ্লেষণ দ্বারা H_2-এর শিল্প প্রস্তুতিতে H_2-কে পাওয়া যায় কোন তড়িদ্দ্বারে? **17.** ব্লিচিং পাউডারের রাসায়নিক নাম লেখো। **18.** জ্বালানি কাকে বলে? কঠিন, তরল ও গ্যাসীয় জ্বালানির একটি করে উদাহরণ দাও। **19.** ওয়াটার গ্যাসের গঠন কী? **20.** L. P. G. গ্যাসের অন্তর্ভুক্ত গ্যাসগুলি গন্ধহীন তবে রান্নার গ্যাস সিলিন্ডার লিক করলে তীব্র কটু গন্ধ পাওয়া যায় কেন? **21.** কোল গ্যাসের মধ্যস্থ 3টি তাপ উৎপাদক গ্যাসের এবং 2টি আলোক উৎপাদক গ্যাসের নাম করো। **22.** কোল গ্যাস থেকে ইউরিয়া কীভাবে পাওয়া যায়? **23.** সুপার ফসফেট অফ লাইমের ফর্মুলা লেখো। **24.** একটি জৈব এবং একটি অজৈব সারের নাম লেখো। **25.** পোর্টল্যান্ড সিমেন্টের শিল্প প্রস্তুতিতে প্রয়োজনীয় কাঁচামালগুলির নাম করো এবং ওর গঠন লেখো। **26.** কাচ কী? কাচের কোমলায়নের প্রয়োজন কী?

[B] সংক্ষিপ্ত উত্তরধর্মী ঃ

1. সংস্পর্শ পদ্ধতিতে H_2SO_4-এর শিল্প প্রস্তুতিতে $2SO_2 + O_2 \rightleftharpoons 2SO_3 +$ তাপ।

এই বিক্রিয়াটির ক্ষেত্রে—**(i)** SO_2 এবং বায়ুর মিশ্রণ বিশুদ্ধ হওয়া দরকার কেন? **(ii)** খুব উচ্চ বা খুব নিম্ন উষ্ণতা ব্যবহার করা হয় না কেন? **(ii)** বেশি বায়ু ব্যবহার করা হয় না কেন?

2. নাইট্রোজেন ও হাইড্রোজেন থেকে শুরু করে কীভাবে ইউরিয়া তৈরি করা যায়, তার একটি পূর্ণ বিবরণ দাও। ইউরিয়াকে ধীরে ধীরে উত্তপ্ত করলে কী হবে?

3. হেবার পদ্ধতি দ্বারা অ্যামোনিয়া প্রস্তুতিতে—**(a)** কত চাপ ও উষ্ণতা রাখা হয়। **(b)** ব্যবহৃত অনুঘটক ও উদ্দীপকের নাম লেখো। **(c)** ওই নির্দিষ্ট উষ্ণতা ও চাপ রাখা হয় কেন? **(d)** বিক্রিয়ায় ব্যবহৃত N_2 এবং H_2-এর উৎস কী?

4. (a) সোডিয়াম বাই কার্বনেটের পণ্য প্রস্তুতি বর্ণনা করো। সমীকরণ দাও। সোডিয়াম কার্বনেট এবং বাই-কার্বনেটের মধ্যে পার্থক্য কীভাবে নির্ণয় করা যায়?

(b) সোডিয়াম হাইড্রক্সাইড কেলাস এবং সোডিয়াম কার্বনেট কেলাস বায়ুতে রেখে দিলে কী কী পরিবর্তন লক্ষ করবে।

(c) সোডিয়াম কার্বনেট প্রস্তুতির সলভে পদ্ধতির সুবিধা ও অসুবিধাগুলি উল্লেখ করো।

5. ব্লিচিং পাউডারের রাসায়নিক নাম লেখো। ব্লিচিং পাউডারের পণ্য উৎপাদনের একটি পদ্ধতি বর্ণনা করো। ব্লিচিং পাউডারের ব্যবহার লেখো। কীসের উপর ব্লিচিং পাউডারের মান নির্ভর করে?

6. সিমেন্টের সংকেত লেখো। এর শিল্পোৎপাদন পদ্ধতি বর্ণনা করো এবং ওর ব্যবহার লেখো। জলের সঙ্গে বিক্রিয়ায় সিমেন্ট শক্ত হয় কেন?

7. নিম্নলিখিত পদার্থগুলি সোডিয়াম ক্লোরাইড থেকে কীভাবে প্রস্তুত করবে? প্রতিটি ক্ষেত্রে বিক্রিয়ার সমীকরণ লেখো : **(i)** কস্টিক সোডা, **(ii)** সোডিয়াম বাই-কার্বনেট, **(iii)** ক্লোরিন।

8. কোল গ্যাসের প্রধান উপাদানগুলির নাম লেখো। কোল গ্যাস প্রস্তুতিতে কী কী উপজাত পদার্থ পাওয়া যায়। প্রত্যেকটির ব্যবহার লেখো।

9. ওয়াটার গ্যাস থেকে H_2 গ্যাসের শিল্পোৎপাদন পদ্ধতিটি সংক্ষেপে বর্ণনা করো।

10. জল থেকে বিভিন্ন পদ্ধতিতে হাইড্রোজেনের শিল্প প্রস্তুতি সংক্ষেপে বর্ণনা করো। $C + H_2O \rightleftharpoons CO + H_2$—এই বিক্রিয়াটি তাপমোচী না তাপগ্রাহী। উষ্ণতা 1000°C-এর নীচে নেমে গেলে বিক্রিয়াটির কোনো পরিবর্তন ঘটবে কী?

[C] রচনাধর্মী প্রশ্ন :

1. H_2SO_4 ছাড়া অ্যামোনিয়াম সালফেট কীভাবে প্রস্তুত করবে? অনুঘটক এবং উষ্ণতার বিশেষ ভূমিকা উল্লেখ করে স্পর্শ পদ্ধতিতে H_2SO_4-এর শিল্পোৎপাদন পদ্ধতির ভৌত রাসায়নিক নীতির ব্যাখ্যা করো। এই পদ্ধতিতে প্রাপ্ত বিশুদ্ধ SO_3-কে সরাসরি জলে না মিশিয়ে গাঢ় H_2SO_4-এর সাথে মেশানো হয় কেন?

2. $N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3 + 24$ k cal—এই বিক্রিয়াটি প্রয়োগ করে হেবার পদ্ধতিতে NH_3-এর শিল্প প্রস্তুতিতে—**(a)** উষ্ণতার প্রভাব, **(b)** চাপের প্রভাব ব্যাখ্যা করো, **(c)** অনুঘটক ব্যবহার করা হয় কেন? **(d)** বিক্রিয়া স্থান থেকে NH_3 উৎপন্ন হওয়ার সাথে সাথে উৎপন্ন NH_3-কে সরিয়ে নেওয়া প্রয়োজন কেন?

3. সংস্পর্শ পদ্ধতিতে সালফিউরিক অ্যাসিডের শিল্প-প্রস্তুতিতে—$2SO_2 + O_2 \rightleftharpoons 2SO_3 + 45$ কিলোক্যালোরি

এই বিক্রিয়া ঘটানোর ক্ষেত্রে—**(i)** SO_2 এবং বায়ুর মিশ্রণ বিশুদ্ধ হওয়া প্রয়োজন কেন? **(ii)** খুব উচ্চ বা খুব নিম্ন উষ্ণতা ব্যবহৃত হয় না কেন? **(iii)** খুব উচ্চচাপ ব্যবহৃত হয় না কেন? **(iv)** সামান্য অতিরিক্ত পরিমাণ বায়ু ব্যবহৃত হয় কেন? খুব অতিরিক্ত পরিমাণ বায়ু ব্যবহৃত হয় না কেন? **(v)** প্ল্যাটিনাম এবং ভ্যানাডিয়াম পেন্টক্সাইডের মধ্যে কোন অনুঘটক ব্যবহার বেশি সুবিধাজনক?

4. অস্‌ওয়াল্ড পদ্ধতিতে অ্যামোনিয়া থেকে নাইট্রিক অ্যাসিডের শিল্প প্রস্তুতিতে—

$4NH_3 + 5O_2 \rightleftharpoons 4NO + 6H_2O + 216$ কিলোক্যালোরি—

এই বিক্রিয়া ঘটানোর ক্ষেত্রে—**(i)** বায়ুর পরিমাণ অতিরিক্ত নেওয়া হয় কেন? **(ii)** অ্যামোনিয়া এবং বায়ুর মিশ্রণ বিশুদ্ধ হওয়া প্রয়োজন কেন? **(iii)** বিক্রিয়া একবার শুরু হয়ে গেলে বাইরে থেকে আর তাপ দেওয়ার প্রয়োজন হয় না কেন? **(iv)** অ্যামোনিয়া এবং বায়ুর মিশ্রণ উত্তপ্ত অনুঘটকের তারজালির মধ্য দিয়ে খুব দ্রুত অতিক্রম করানো হয় কেন?

5. (a) পলিমারের শ্রেণিবিভাগ বর্ণনা করো। **(b)** উচ্চ ঘনত্বের পলিথিনের প্রস্তুতি বর্ণনা করো। নিম্ন ঘনত্বের পলিথিনের সঙ্গে এই পলিথিনের ধর্মের পার্থক্যগুলি দেখাও। পলিথিনের ব্যবহার লেখো।

6. নাইলন 6, 6-এর মনোমার কী? এই মনোমার থেকে কীভাবে নাইলন 6, 6-এর শিল্পোৎপাদন করা হয়? নাইলন 6, 6-এর ব্যবহার লেখো।

7. রবারের প্রাকৃতিক উৎস থেকে কীভাবে রবার প্রস্তুত করা হয় বর্ণনা করো। রবারের ভালকানাইজেশন করা হয় কেন? রবারের ধর্মের উপর সালফারের প্রভাব বুঝিয়ে দাও। রবারের মনোমারের IUPAC নামটি লেখো। এর ব্যবহার লেখো।

8. সোডিয়াম ক্লোরাইডের জলীয় দ্রবণের তড়িদ্‌বিশ্লেষণ দ্বারা NaOH-এর শিল্প প্রস্তুতিতে অসুবিধাগুলির উল্লেখ করো। এই অসুবিধাগুলি দূর করে কীভাবে—**(i)** মার্কারি ঘটিত সেল দ্বারা NaOH-এর শিল্প প্রস্তুতি করা হয় তার কার্যনীতি সমীকরণ সহ বর্ণনা করো।

9. কীভাবে NaCl-এর জলীয় দ্রবণ থেকে নেলসন সেল দ্বারা NaOH প্রস্তুত করা হয় বর্ণনা করো।

10. জ্বালানি কাকে বলে? কঠিন, তরল ও গ্যাসীয় জ্বালানির উদাহরণ দাও। কী করে বৃহৎ আয়তন পদ্ধতিতে—**(a)** প্রডিউসার গ্যাস এবং **(b)** ওয়াটার গ্যাস প্রস্তুত করা হয়? এর ভৌত রাসায়নিক নীতির উল্লেখ করে প্রতিটির বর্ণনা দাও।

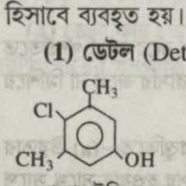
8 প্রয়োগভিত্তিক রসায়ন, পরিবেশ রসায়ন ও জীবজ অণু
[Application Oriented Chemistry, Environmental chemistry & Bio-molecules]

প্রয়োগভিত্তিক রসায়ন

8.1. অ্যান্টিসেপটিক [Antiseptic]

যে রাসায়নিক পদার্থ সংক্রামক জীবাণু ধ্বংস করে বা ওদের বৃদ্ধি প্রতিহত করে পচন নিবারণ করে কিন্তু মানবদেহের টিস্যুর কোনো ক্ষতি করে না তাকে অ্যান্টিসেপটিক বলে। অ্যালকোহল, ফেনল, ক্লোরিন এবং আয়োডিন গ্রুপ যুক্ত যৌগসমূহ অ্যান্টিসেপটিক হিসাবে ব্যবহৃত হয়। অ্যান্টিসেপটিক দেহের বহির্ভাগে ক্ষতের পচন নিবারণের জন্য ব্যবহৃত হয়।

(1) ডেটল (Dettol) : ডেটল **ক্লোরোজাইলিনল** এবং **টারপিনলের মিশ্রণ**। দেহের ক্ষত, কাটা বা ছেঁড়া এবং ব্যাধিগ্রস্ত বা রোগগ্রস্ত ত্বকে জীবাণুর সংক্রমণ রোধ করার জন্য ডেটল ব্যবহৃত হয়।



ক্লোরোজাইলিনল

(2) স্যাভলন (Savlon) : স্যাভলন প্রচলিত অ্যান্টিসেপটিকগুলির মধ্যে অন্যতম। স্যাভলন **ক্লোরোহেক্সিডিন গ্লুকোনেট** এবং **সেট্রিমাইড** দ্রবণের মিশ্রণ। দেহের ক্ষত ও কাটা-ছেঁড়ায় স্যাভলন ব্যবহৃত হয়।

(3) স্যালল (Salol) : স্যাললের রাসায়নিক নাম **ফিনাইল স্যালিসাইলেট**। স্যালল অভ্যন্তরীণ অ্যান্টিসেপটিক হিসাবে ব্যবহৃত হয়।

(4) 2–3% আয়োডিনের অ্যালকোহলীয় জলীয় দ্রবণ (tincture of iodine) অ্যান্টিসেপটিক হিসাবে ব্যবহার হয়।

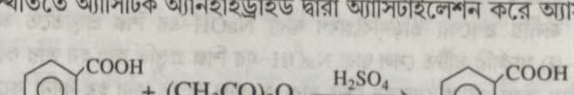
(5) কিছু রঞ্জক পদার্থ যেমন, **জেনটিয়ান ভায়োলেট, মিথিলিন ব্লু** (methylene blue) অ্যান্টিসেপটিক রূপে ব্যবহৃত হয়।

(6) এসব পদার্থ ছাড়া **স্যালিসাইলিক অ্যাসিড, পিকরিক অ্যাসিড, রেসরসিনল** এবং **ফেনল** অ্যান্টিসেপটিক হিসাবে ব্যবহৃত হয়।

8.2. বেদনানাশক বা অ্যানালজেসিক [Analgesic]

যে সব রাসায়নিক পদার্থ বেদনাবোধ হ্রাস করে তাদের অ্যানালজেসিক বা বেদনানাশক ওষুধ বলে। কয়েকটি বেদনানাশক ওষুধ একইসঙ্গে দেহের তাপমাত্রা বা জ্বর হ্রাস করতে (antipyretic) পারে। **যে রাসায়নিক পদার্থ জ্বর হ্রাস করে তাদের অ্যান্টিপাইরেটিক** (antipyretics) **বলে**। বেদনা আঘাত বা রোগজনিত হতে পারে। বহুল ব্যবহৃত কতকগুলি অ্যানালজেসিক হল : **অ্যাসপিরিন, প্যারাসিটামল, নোভালজিন, আইবুপ্রোফেন**। এগুলি ছাড়াও আফিম উপক্ষার শ্রেণিভুক্ত যৌগ শক্তিশালী বেদনানাশক ওষুধ মরফিন, কোডিন কেন্দ্রিয় স্নায়ুতন্ত্রের ক্রিয়া অবদমন করে বেদনানাশ করে।

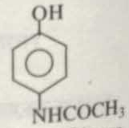
(1) অ্যাসপিরিন (Aspirin) : অ্যাসপিরিন হলো **অ্যাসিটাইল স্যালিসাইলিক অ্যাসিড**। স্যালিসাইলিক অ্যাসিডকে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিডের উপস্থিতিতে অ্যাসিটিক অ্যানহাইড্রাইড দ্বারা অ্যাসিটাইলেশন করে অ্যাসপিরিন তৈরি করা হয়।



অ্যাসপিরিন

ব্যবহার : অ্যাসিপিরিন সম্ভবত সবচেয়ে বেশি ব্যবহৃত বেদনানাশক ওষুধ। মাথাব্যথা, শরীরের অন্য ব্যথা, ঠান্ডা লাগা ও জ্বর উপশমের জন্য ব্যবহৃত হয়। অ্যাসপিরিনের পার্শ্ববিক্রিয়া হলো **অন্ত্রে ক্ষত সৃষ্টি করে** এবং **রক্ত ক্ষরণ হয়।**

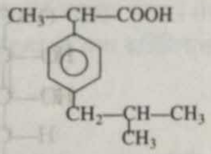
(2) প্যারাসিটামল (Paracetamol) : রাসায়নিক নাম *N*-অ্যাসিটাইল প্যারা অ্যামিনোফেনল। প্যারা অ্যামিনোফেনলকে অ্যাসিটিক অ্যানহাইড্রাইড দ্বারা অ্যাসিটাইলেশন করলে প্যারাসিটামল পাওয়া যায়।



প্যারাসিটামল

ব্যবহার : যে সমস্ত রোগীর ক্ষেত্রে অ্যাসপিরিন প্রয়োগ সম্ভব নয় সেসব ক্ষেত্রে প্যারাসিটামল ব্যবহার করা যায়। মাথার যন্ত্রণা, গেঁটে ব্যথা (joint pain) এবং পেশীর যন্ত্রণা উপশমে ব্যবহৃত হয়। প্যারাসিটামল বেশিমাত্রায় ব্যবহার করলে **লিভারের ক্ষতির** সম্ভাবনা থাকে।

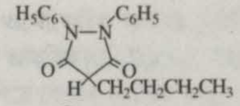
● **পেইন কিলার** (Pain killers) ঃ সাধারণভাবে অ্যানালজেসিকগুলো বেদনাবোধ উপশম করে। পূর্বে আলোচিত অ্যানালজেসিকগুলোর মধ্যে একই সঙ্গে দেহের তাপমাত্রা বা জ্বর হ্রাস করার ধর্মও বর্তমান। সেজন্য ওই রাসায়নিক পদার্থগুলি হল—অ্যানালজেসিক আবার অ্যান্টিপাইরেটিক। এখানে শুধুমাত্র দেহের ব্যথা উপশমের জন্য ব্যবহৃত ওষুধের উদাহরণ দেওয়া হলো, এদের জ্বর কমানোর ক্ষমতা থাকে না।



(i) আইবুপ্রোফেন (Ibuprofen) ঃ

পার্শ্বপ্রতিক্রিয়া ঃ গা-গোলানো, বমি ভাব, বমি হওয়া, উদরের উপরে দিকে অস্বাচ্ছন্দ্য বোধ, মাথা ঝিমঝিম, মাথা ব্যথা, ত্বকে র‍্যাশ ইত্যাদি উপসর্গ দেখা দেয়।

(ii) ফিনাইল বিউটাজোন ঃ



পার্শ্বপ্রতিক্রিয়া ঃ গা-গোলানো, বমিভাব, বমি হওয়া, পরিপাক তন্ত্রে ক্ষত (পেপটিক আলসার), অবসাদগ্রস্থ, ত্বকে র‍্যাশ প্রভৃতি উপসর্গ দেখা দেয়।

8.3. অ্যান্টাসিড [Antacids]

যে সব পদার্থ পাকস্থলীর বাড়তি অম্লত্ব (gastric acidity)—অর্থাৎ প্রয়োজনের অতিরিক্ত হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের কার্যকারিতা নষ্ট করে তাদের **অ্যান্টাসিড** বলে। দুরকম অ্যান্টাসিড আছে—**(i) সিস্টেমিক** (Systemic) ঃ যেমন ঃ সোডিয়াম-বাইকার্বনেট ($NaHCO_3$)। $NaHCO_3$ পাকস্থলীর অতিরিক্ত অ্যাসিডকে প্রশমিত করলেও বাইকার্বনেট শোষিত হওয়ার ফলে দেহের অ্যাসিড ও ক্ষারের সমতার ভারসাম্য নষ্ট হয়। **(ii) নন-সিস্টেমিক** (Non-systemic) **অ্যান্টাসিড ঃ অ্যালুমিনিয়াম হাইড্রক্সাইড** [$Al(OH)_3$], **ম্যাগনেশিয়াম কার্বনেট** ($MgCO_3$), **ম্যাগনেশিয়াম হাইড্রক্সাইড** [$Mg(OH)_2$], **ক্যালশিয়াম কার্বনেট** ($CaCO_3$)—এইসব অ্যান্টাসিডগুলি শোষিত হয় না, ফলে দেহে অ্যাসিড ও ক্ষারের সমতার ভারসাম্য নষ্ট হয় না।

(1) সোডিয়াম বাইকার্বনেট ($NaHCO_3$) ঃ সোডিয়াম বাইকার্বনেট HCl-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে সোডিয়াম লবণ উৎপন্ন করে এবং CO_2 গ্যাস নির্গত করে। বেশি ব্যবহারে মূত্র ক্ষারধর্মী হয়ে যায়, ফলে মূত্রনালীর সংক্রমণ ঘটে। অম্ল ও ক্ষারের সমতার ভারসাম্য নষ্ট হয়, সোডিয়াম আয়নের পরিমাণ বেড়ে যাওয়াতে রক্তচাপ বাড়ে।

(2) অ্যালুমিনিয়াম হাইড্রক্সাইড [$Al(OH)_3$] ঃ অ্যালুমিনিয়াম হাইড্রক্সাইড পাকস্থলীর HCl-এর সঙ্গে বিক্রিয়ায় অ্যালুমিনিয়াম ক্লোরাইড ($AlCl_3$) তৈরি করে ফলে অম্লত্ব কমে যায়। এর ব্যবহারে আরাম বোধ (demulcent) হয়। অ্যালুমিনিয়াম হাইড্রক্সাইড সাধারণত ধীর গতিতে গ্যাসট্রিক অ্যাসিডকে প্রশমিত করে।

পার্শ্বপ্রতিক্রিয়া ঃ গা-গোলানো ভাব, বমি ও কোষ্ঠকাঠিন্য প্রভৃতি উপসর্গ দেখা দেয়।

(3) ম্যাগনেশিয়াম হাইড্রক্সাইড [$Mg(OH)_2$] ঃ ম্যাগনেশিয়াম হাইড্রক্সাইড খুব দ্রুত পাকস্থলীতে HCl-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে গ্যাসট্রিক অ্যাসিড প্রশমিত করে। ম্যাগনেশিয়াম হাইড্রক্সাইডের মূল পার্শ্বপ্রতিক্রিয়া হলো ঃ উদরাময়, পেটের অসুখ।

(4) ক্যালশিয়াম কার্বনেট ($CaCO_3$) ঃ ক্যালশিয়াম কার্বনেট খুব দ্রুত ক্রিয়া করে গ্যাসট্রিক অ্যাসিড প্রশমিত করে সঙ্গে CO_2 গ্যাস নির্গত করে। এটি অপেক্ষাকৃত দীর্ঘসময় ধরে গ্যাসট্রিক অ্যাসিড প্রশমিত করে। দীর্ঘদিন ব্যবহারে মাথাব্যথা, দুর্বলতা, অন্ত্রে ক্যালশিয়াম জমা হতে থাকে। পিত্তথলিতে পাথর হওয়ার সম্ভাবনা থাকে। অ্যান্টাসিড রূপে এর ব্যবহার কম।

কয়েকটি অ্যান্টাসিডের নাম ও প্রধান উপাদান উল্লেখ করা হল ঃ

(i) অ্যানসিড (Ancid) ঃ অ্যালুমিনিয়াম হাইড্রক্সাইড, ম্যাগনেশিয়াম হাইড্রক্সাইড, ম্যাগনেশিয়াম ট্রাইসিলিকেট।

(ii) সেন্টাসিড (Centacid) ঃ অ্যালুমিনিয়াম হাইড্রক্সাইড এবং ম্যাগনেশিয়াম হাইড্রক্সাইড।

(iii) ডাইজিন (Digene) ঃ অ্যালুমিনিয়াম হাইড্রক্সাইড, অ্যালুমিনিয়াম সিলিকেট, ম্যাগনেশিয়াম হাইড্রক্সাইড।

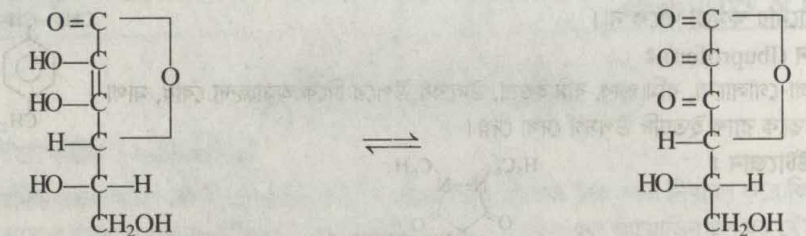
(iv) ডায়োভল (Diovol) ঃ অ্যালুমিনিয়াম হাইড্রক্সাইড, ম্যাগনেশিয়াম হাইড্রক্সাইড এবং ম্যাগনেশিয়াম কার্বনেট।

(v) জেলুসিল (Gelusil) ঃ ম্যাগনেশিয়াম ট্রাইসিলিকেট, অ্যালুমিনিয়াম হাইড্রক্সাইড।

8.4. ভিটামিন-C [Vitamin-C]

ভিটামিন C-এর রাসায়নিক নাম **অ্যাস্‌করবিক অ্যাসিড** (ascorbic acid)। মানবদেহ ভিটামিন-C তৈরি করতে পারেনা। শারীরিক প্রয়োজনে খাবারের মাধ্যমে ভিটামিন-C গ্রহণ করতে হয়। কমলালেবু, আম, পেয়ারা, পালংশাক, অন্যান্য সবজি,

পাতিলেবু ইত্যাদিতে এই ভিটামিন প্রচুর পরিমাণে পাওয়া যায়। প্রাণীদেহের কোশে অ্যাসকরবিক অ্যাসিড জারক-বিজারক অনুঘটক রূপে কাজ করে। তাই এটি দ্রুত জারিত হয়ে যায়। অ্যাস্‌করবিক অ্যাসিড জারিত হয়ে ডিহাইড্রোঅ্যাস্‌করবিক অ্যাসিডে পরিণত হয় এবং এরা উভমুখী সাম্য অবস্থায় থাকে।



L-অ্যাস্‌করবিক অ্যাসিড ⇌ ডিহাইড্রো অ্যাস্‌করবিক অ্যাসিড

ধর্ম ঃ সাদা কেলাসিত, জলে দ্রাব্য কঠিন। অ্যালকোহলে সামান্য দ্রবীভূত হয়। শুষ্ক অবস্থায় ভিটামিন-C-এর কেলাস স্থায়ী হয়। অ্যাসকরবিক অ্যাসিডের সোডিয়াম, ক্যালশিয়াম ও আয়রন লবণ পাওয়া যায়।

ব্যবহার ঃ স্কার্ভি (scurvy) রোগের নিরাময়ের জন্য ভিটামিন-C ব্যবহৃত হয়। দাঁতের ক্ষত সারানো, মাড়ি দিয়ে রক্তক্ষরণ বন্ধ করা, ভাঙ্গা হাড় জোড়া লাগাতে ভিটামিন-C-এর ভূমিকা আছে। ভিটামিন-C রোগ প্রতিরোধ ক্ষমতা বাড়ায়। রং স্থাপক রূপে এবং পরীক্ষাগারে বিজারক রূপে ব্যবহৃত হয়। দীর্ঘদিন বেশি মাত্রায় ভিটামিন-C গ্রহণ করলে গা-বমি, ডায়েরিয়া, কিডনি ও মূত্রস্থলীতে পাথর প্রভৃতি পরিলক্ষিত হয়।

8.5. বেকিং পাউডার [Baking powder]

বেকিং পাউডার হল **সোডিয়াম বাইকার্বনেট** এবং **পটাশিয়াম হাইড্রোজেন টার্টারেটের মিশ্রণ।** জলের সংস্পর্শে এলে CO_2 উৎপন্ন হয়। উত্তপ্ত করলে $NaHCO_3$-এর তাপ বিয়োজনে উৎপন্ন CO_2 ভেতর থেকে বেরিয়ে আসার জন্য একে বেকারিতে উৎপন্ন খাদ্যদ্রব্য ফোলানোর জন্য ব্যবহৃত হয়। যেমন ঃ পাউরুটি, কেক, বিস্কুট ইত্যাদি তৈরিতে বেকিং পাউডার ব্যবহার করা হয়।

8.6. প্লাস্টার অফ প্যারিস [Plaster of paris]

প্লাস্টার অব প্যারিস হল ক্যালশিয়াম সালফেট হেমিহাইড্রেট ($2CaSO_4, H_2O$)। জিপসামকে ($CaSO_4, 2H_2O$) চুল্লির মধ্যে 110ºC—120ºC তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করে প্লাস্টার অব প্যারিস তৈরি করা হয়।

$$\underset{\text{জিপসাম}}{2[CaSO_4, 2H_2O]} = \underset{\text{প্লাস্টার অফ প্যারিস}}{2CaSO_4, H_2O} + 2H_2O$$

প্লাস্টার অব প্যারিস সাধারণ তাপমাত্রায় জল দিয়ে লেই করে রেখে দিলে জিপসামের কেলাসজল অল্প সময়ের মধ্যে শক্ত হয়ে জমাট বেঁধে শক্ত হয়ে যায়। এর কারণ হল, প্লাস্টার অব প্যারিস জলের সঙ্গে বিক্রিয়া করে আবার কঠিন জিপসামে পরিণত হয়।

$$\underset{\text{প্লাস্টার অফ্ প্যারিস}}{2CaSO_4, H_2O} + 3H_2O = \underset{\text{জিপসাম}}{2[CaSO_4, 2H_2O]}$$

ব্যবহার ঃ (i) প্লাস্টার অব প্যারিস ঢালাইয়ের কাজে ব্যবহৃত হয়। **(ii)** ছাঁচ, মূর্তি, ভাস্কর্য তৈরিতে ব্যবহৃত হয়। **(iii)** ভাঙা হাড় জোড়া লাগানোর জন্য ব্যান্ডেজে সিমেন্ট রূপে প্রচুর ব্যবহৃত হয়। **(iv)** বাড়ির সিলিং-এ কারুকার্য করার জন্য প্লাস্টার হিসাবে ব্যবহার করা হয়।

8.7. ক্যালশিয়াম ল্যাকটেট [Calcium lactate]

ক্যালশিয়াম ল্যাকটেট দুধ থেকে ছানা তৈরি করার জন্য ব্যবহৃত হয়। বিভিন্ন ওষুধ প্রস্তুত করতে ব্যবহৃত হয়।

8.8. সাধারণ অ্যালাম বা ফটকিরি [Common Alum]

অ্যালাম এক বিশেষ শ্রেণির যৌগ। একযোজী ধাতু বা ধাতুর মতো ধর্মবিশিষ্টমূলক এবং ত্রিযোজী ধাতুর যুগ্ম সালফেটকে অ্যালাম বলে। অ্যালামের সাধারণ সংকেত ঃ $R_2SO_4, M_2(SO_4)_3, 24H_2O$; R = একযোজী ধাতু বা মূলক; যেমন—Na, K ইত্যাদি। M = ত্রিযোজী ধাতু; যেমন—Fe, Al, Cr ইত্যাদি।

সাধারণ অ্যালাম বা ফটকিরি হল পটাশিয়াম সালফেট ও অ্যালুমিনিয়াম সালফেটের একটি দ্বিধাতব লবণ। এর সংকেত ঃ $K_2SO_4, Al_2(SO_4)_3, 24H_2O$.

ব্যবহার ঃ (i) জলের মধ্যে Fe, As প্রভৃতির যৌগ কলয়েড কণা রূপে উপস্থিত থাকলে সেই জলকে পরিষ্কার করার জন্য সাধারণ অ্যালাম ব্যবহৃত হয়। **(ii)** রঞ্জনশিল্পে রঙ স্থাপকরূপে ব্যবহৃত হয়। **(iii)** কাগজ ও চর্ম শিল্পে এর ব্যবহার আছে। **(iv)** জীবাণুনাশক ও সামান্য কাটায় রক্ত বন্ধ করার জন্য ফটকিরি ব্যবহার করা হয়। **(v)** ফেনা সহ CO_2 উৎপন্নের জন্য অগ্নিনির্বাপক যন্ত্রে ব্যবহৃত হয়। **(vi)** বেকিং পাউডারে এবং বিভিন্ন ওষুধ প্রস্তুতিতে ফটকিরি ব্যবহৃত হয়।

8.9. বোরিক অ্যাসিড [Boric acid]

বোরনের তিন রকম অক্সি অ্যাসিডের মধ্যে অর্থোবোরিক অ্যাসিড, বোরিক অ্যাসিড বা বোরাসিক অ্যাসিড নামে পরিচিত। আণবিক সংকেত হল ঃ H_3BO_3। কোলেম্যানাইট আকরিক ($Ca_2B_6O_{11}, 5H_2O$) থেকে বোরিক অ্যাসিড প্রস্তুত করা হয়। বোরাক্স দ্রবণে পরিমাণ মতো গাঢ় HCl বা H_2SO_4 মিশিয়ে বোরিক অ্যাসিড প্রস্তুত করা হয়।

$$Na_2B_4O_7 + 2HCl + 5H_2O = 2NaCl + 4H_3BO_3$$

ব্যবহার ঃ (i) মৃৎশিল্পে বোরিক অ্যাসিড ব্যবহৃত হয়। **(ii)** পোর্সেলিনের পাত্র পালিশ করার জন্য এবং এনামেল প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত হয়। **(iii)** মৃদু জীবাণুনাশক এবং ওষুধরূপে এর ব্যবহার হয়। **(iv)** খাবার সংরক্ষণ এবং **(v)** চোখের লোশন রূপে বোরিক অ্যাসিড ব্যবহৃত হয়।

8.10. বোরাক্স [Borax]

বোরাক্স বাংলায় **সোহাগা** হিসাবে পরিচিত। রাসায়নিক নাম ঃ **সোডিয়াম টেট্রাবোরেট ডেকাহাইড্রেট** এবং এর সংকেত ঃ $Na_2B_4O_7, 10H_2O$.

কোলেম্যানাইট আকরিক থেকে বোরাক্স প্রস্তুত করা যায়। বোরিক অ্যাসিড এবং Na_2CO_3 মিশ্রণ ফোটালে বোরাক্স উৎপন্ন হয়।

$$4H_3BO_3 + Na_2CO_3 = Na_2B_4O_7 + 6H_2O + CO_2$$

ব্যবহার ঃ (i) কোনো কোনো ধাতু (যেমন—সোনা) গলিয়ে শুদ্ধ করার সময় বোরাক্স বিগালক হিসাবে ব্যবহৃত হয়। **(ii)** দুটি ধাতুর পাত জোড়া দেওয়ার জন্য বোরাক্স বিগালকরূপে ব্যবহৃত হয়। **(iii)** বোরো সিলিকেট নামে উন্নত মানের কাচ প্রস্তুতে, এনামেল প্রস্তুতিতে এবং চীনামাটির পাত্র চকচকে করতে বোরাক্স ব্যবহৃত হয়। **(iv)** বীজাণুনাশক সাবান প্রস্তুতি, খাবার সংরক্ষণে, মোমবাতির সলতে শক্ত করতে বোরাক্স ব্যবহৃত হয়। **(v)** পরীক্ষাগারে ধাতব মূলক শনাক্তকরণে 'বোরাক্স বীড' পরীক্ষার জন্য ব্যবহৃত হয়।

8.11. কপার সালফেট বা তুঁতে বা ব্লু-ভিট্রিয়ল [Copper Sulphate or Blue vitriol]

কপার সালফেট গাঢ় নীল রং-এর কেলাসিত লবণ, একে ব্লু-ভিট্রিয়ল বলে। কপার সালফেট কেলাসে প্রতি অণুতে 5 অণু কেলাস জল বর্তমান। সংকেত ঃ $CuSO_4, 5H_2O$. পরীক্ষাগারে কাচের ফ্লাস্কে কপার ছিলার সঙ্গে গাঢ় H_2SO_4 মিশিয়ে উত্তপ্ত করলে কপার সালফেট উৎপন্ন হয়।

$$Cu + 2H_2SO_4 = CuSO_4 + SO_2 + 2H_2O$$

ব্যবহার ঃ (i) তড়িৎলেপন, তড়িৎ-কোশ নির্মাণে প্রচুর পরিমাণে ব্যবহৃত হয়। **(ii)** রঞ্জন শিল্পে, পরীক্ষাগারে বিকারকরূপে ব্যবহৃত হয়। **(iii)** জীবাণুনাশকরূপে কপার সালফেট ব্যবহৃত হয়। **(iv)** কপার সালফেট ও চুনের মিশ্রণ কৃষিক্ষেত্রে ছত্রাক বিনষ্ট করার জন্য ব্যবহৃত হয়। **(v)** কাঠ সংরক্ষণে কপার সালফেটের ব্যবহার আছে। **(vi)** অ্যালকোহলে জলের উপস্থিতি পরীক্ষায় সাদা অনার্দ্র কপার সালফেট ব্যবহার করা হয়।

8.12. এপসম্ সল্ট [Epsom salt]

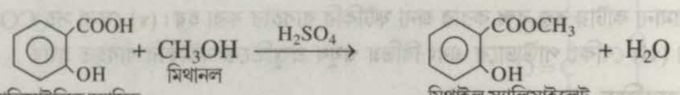
এপসম্ সল্ট হল ম্যাগনেশিয়াম সালফেটের সোদক কেলাস, প্রতি অণুতে 7 অণু কেলাস জল থাকে, এর সংকেত $MgSO_4, 7H_2O$. ম্যাগনেসাইটের ($MgCO_3$) সঙ্গে H_2SO_4-এর বিক্রিয়ায় ম্যাগনেশিয়াম সালফেট উৎপন্ন হয়।

$$MgCO_3 + H_2SO_4 = MgSO_4 + CO_2 + H_2O$$

ব্যবহার ঃ (i) ওষুধরূপে (বিরেচক, purgative) এপসম্ সল্ট ব্যবহৃত হয়। **(ii)** বস্ত্র রঞ্জক শিল্পে, চামড়া ট্যান করার কাজে ব্যবহৃত হয়। **(iii)** সিমেন্ট প্রস্তুতে, রঙ প্রস্তুতে এবং সাবান প্রস্তুতে ব্যবহার হয়। **(iv)** অগ্নিসহ (fire resistant), সুতোবস্ত্র তৈরিতে ব্যবহৃত হয়। **(v)** কসমেটিক লোশন প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত হয়। **(vi)** অনার্দ্র ম্যাগনেশিয়াম সালফেট নিরুদক হিসাবে ব্যবহৃত হয়।

8.13. অয়েল অফ্ উইন্টার গ্রিন [Oil of winter green]

অয়েল অফ্ উইন্টার গ্রিনের প্রধান উপাদান **মিথাইল স্যালিসাইলেট**। মিথাইল অ্যালকোহল এবং স্যালিসাইলিক অ্যাসিডকে কয়েক ফোঁটা গাঢ় H_2SO_4 সহযোগে উত্তপ্ত করলে অয়েল অফ্ উইন্টার গ্রিন অর্থাৎ (আয়োডেক্সের মতো গন্ধবিশিষ্ট) **মিথাইল স্যালিসাইলেট** তৈরি হয়।



স্যালিসাইলিক অ্যাসিড মিথানল মিথাইল স্যালিসাইলেট

ব্যবহার ঃ (i) সুগন্ধী তৈরিতে এবং দ্রব্য গন্ধযুক্ত করার জন্য ব্যবহৃত হয়। **(ii)** অয়েল অফ্ উইন্টার গ্রিন ব্যথা উপশমের ওষুধ তৈরিতে ব্যবহার হয়। **(iii)** UV রশ্মির শোষক রূপে লোশন প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত হয়।

8.14. কার্বলিক অ্যাসিড [Carbolic acid]

রাসায়নিক নাম **ফেনল**, সংকেত ঃ C_6H_5OH। শিল্প পদ্ধতিতে আলকাতরার আংশিক পাতনে প্রাপ্ত মিডল আয়েল থেকে এবং কিউমিন থেকে ফেনল তৈরি করা হয়। ফেনল বিষাক্ত, ত্বকের সংস্পর্শে এলে ক্ষতের সৃষ্টি হয়।

ব্যবহার ঃ (i) প্লাস্টিক শিল্পে, ব্যাকেলাইট প্লাস্টিক প্রস্তুতিতে প্রচুর পরিমাণে ব্যবহৃত হয়। (ii) বিভিন্ন রাসায়নিক পদার্থ যেমন—পিকরিক অ্যাসিড, ফিনলপথ্যালিন, সাইনোহেক্সানল প্রস্তুত করতে ব্যবহার হয়। **(iii)** নানা দরকারী ওষুধ যেমন—স্যালিসাইলিক অ্যাসিড, ফেনঅ্যাসিটিন, অ্যাসপিরিন, স্যালল ইত্যাদি প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত হয়। **(iv)** জীবাণুনাশক হিসাবে সাবান এবং লোশন তৈরিতে ব্যবহৃত হয়। **(v)** রঞ্জকশিল্পে, কাঠ সংরক্ষণে ব্যবহৃত রাসায়নিক প্রস্তুত করতে ফেনল ব্যবহৃত হয়।

● পরিবেশ রসায়ন ●

8.15. বায়ুর রাসায়নিক প্রকৃতি এবং পরিবেশে ভূমিকা [Chemical nature of air and their role in environment]

পৃথিবীর চতুর্দিকে ঘিরে যে অদৃশ্য গ্যাসীয় আবরণ থাকে তাকে **বায়ুমণ্ডল** বলে। বায়ুমণ্ডলে উপস্থিত বিভিন্ন গ্যাসের মিশ্রণই হল বায়ু। বায়ু কোনো যৌগিক পদার্থ নয়, তাই বায়ুগঠনকারী বিভিন্ন গ্যাস এককভাবে নিজস্ব বৈশিষ্ট্য বজায় রাখে। বায়ু বিভিন্ন গ্যাসের মিশ্রণ হলেও, এতে বিশেষত বায়ুমণ্ডলের নিম্নভাগে অর্থাৎ ভূপৃষ্ঠ থেকে প্রায় 100 কিমি উচ্চতা পর্যন্ত বায়ুমণ্ডলে বিভিন্ন গ্যাসের মিশ্রণের অনুপাত প্রায় একই থাকে। এই অঞ্চলকে **হোমোস্ফিয়ার বা সমমণ্ডল** বলে। অন্যদিকে 100 কিমি উচ্চতার উপর থেকে গ্যাসগুলির মিশ্রণের অনুপাত একইরকম নয়। এই স্তর **হেটোরোস্ফিয়ার বা বিষমণ্ডল** নামে পরিচিত। বায়ুমণ্ডল পৃথিবীপৃষ্ঠ থেকে 1600 কিমি পর্যন্ত বিস্তৃত। বায়ুমণ্ডলের মোট বায়ুর 50 শতাংশ 5·5 কিমির মধ্যে এবং 99 শতাংশ 30 কিমির মধ্যে থাকে। বায়ুমণ্ডলের বায়বীয় পদার্থের মোট ভর প্রায় $5{\cdot}2 \times 10^{18}$ টন। বায়ুমণ্ডলের নিম্নভাগে অর্থাৎ হোমোস্ফিয়ারে বায়ুর প্রধান উপাদান গ্যাসগুলি ও তাদের আয়তন হিসাবে শতকরা পরিমাণ দেওয়া হল—

উপাদান গ্যাস	সংকেত	আয়তন হিসাবে শতকরা পরিমাণ
নাইট্রোজেন	N_2	78·08
অক্সিজেন	O_2	20·98
কার্বন ডাইঅক্সাইড	CO_2	0·035
আরগন	Ar	0·93
জলীয় বাষ্প	H_2O	1–4

নাইট্রোজেন, অক্সিজেন, আরগন এবং **কার্বন ডাইঅক্সাইড** বায়ুমণ্ডলের মোট আয়তনের 99·99% দখল করে। এগুলি ছাড়া খুবই অল্প পরিমাণে উপস্থিত অন্যান্য উপাদানগুলি হল **নিয়ন, হিলিয়াম, ওজোন, হাইড্রোজেন, ক্রিপটন, জেনন** এবং **মিথেন**। এদের মধ্যে ওজোনের পরিমাণ 0·00006%) খুব কম হলেও এর গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা আছে।

সমগ্রভাবে বায়ুমণ্ডল মহাজাগতিক রশ্মি শোষণ করে ফলে ওই রশ্মির ক্ষতিকারক প্রভাব থেকে পৃথিবীর জীব ও উদ্ভিদকে রক্ষা করে। বায়ুমণ্ডল পৃথিবীর তাপমাত্রার সমতা রক্ষা করে। বায়ুমণ্ডল সূর্যের লোহিত-রশ্মি (Infra-red radiation) শোষণ করে

এবং পৃথিবীপৃষ্ঠ থেকে বিকিরিত তাপ শোষণ করে, ফলে পৃথিবীপৃষ্ঠের তাপমাত্রার বিশেষ পরিবর্তন হয় না। বায়ুমণ্ডল না থাকলে পৃথিবীপৃষ্ঠ দিনে প্রচণ্ড উত্তপ্ত এবং রাত্রে প্রচণ্ড শীতল হত। বায়ুমণ্ডল গঠনকারী প্রধান গ্যাসগুলি গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে। যেমন—

নাইট্রোজেন ঃ মানুষ এবং অধিকাংশ প্রাণী এমনকি উদ্ভিদও নাইট্রোজেন গ্যাসকে সরাসরি ব্যবহার করতে পারে না। কিছু ব্যাকটেরিয়া বায়ু থেকে নাইট্রোজেন ব্যবহার করে মাটিতে নাইট্রেট লবণ গঠন করে যা উদ্ভিদের প্রোটিন সংশ্লেষে খুবই গুরুত্বপূর্ণ। এইভাবে নাইট্রোজেন আবদ্ধকরণের দ্বারা উৎপন্ন নাইট্রোজেন যৌগ উদ্ভিদ এবং তার থেকে প্রাণীর ব্যবহারে আসে। উদ্ভিদ ও প্রাণীর মধ্যে নাইট্রোজেনঘটিত যৌগ মৃত্যুর পর কিছু ব্যাকটেরিয়ার মাধ্যমে পুনরায় নাইট্রোজেন হিসাবে বায়ুমণ্ডলে ফিরে যায়। প্রাণসৃষ্টিতে অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ অ্যামিনো অ্যাসিড নাইট্রোজোন দ্বারা গঠিত।

অক্সিজেন ঃ বায়ুমণ্ডলে উপস্থিত অক্সিজেন গ্যাস রাসায়নিকভাবে অত্যন্ত সক্রিয়। যে-কোনো প্রকার দহনের জন্য অক্সিজেন আবশ্যক। মানুষসহ সকল প্রাণী (কিছু নিম্নশ্রেণির ক্ষুদ্র জীব ছাড়া) এবং উদ্ভিদের শ্বসনের জন্য অক্সিজেন অপরিহার্য। অক্সিজেন, উদ্ভিদ ও প্রাণীদেহে সঞ্চিত খাদ্যকে জারিত করে তাপ ও শক্তি উৎপন্ন করে। প্রাণীসমূহ বায়ুমণ্ডল থেকে অক্সিজেন গ্রহণ করে আবার উদ্ভিদ সালোকসংশ্লেষ প্রক্রিয়ায় অক্সিজেন বায়ুমণ্ডলে ত্যাগ করে। এভাবে বায়ুতে অক্সিজেনের ভারসাম্য বজায় থাকে।

কার্বন ডাইঅক্সাইড ঃ জীবাশ্ম-জ্বালানি, দহন, উদ্ভিদ ও প্রাণীর শ্বসন এবং যে-কোনো প্রকার দহন প্রক্রিয়ার ফলে বায়ুমণ্ডলে কার্বন ডাইঅক্সাইড যুক্ত হয়। সবুজ উদ্ভিদ সালোকসংশেষ প্রক্রিয়ায় খাদ্য তৈরির সময়ে বায়ুমণ্ডলের CO_2 গ্রহণ করে। এভাবে CO_2-এর ভারসাম্য বজায় থাকে। CO_2 সৌর বিকিরণকে শোষণ করার মাধ্যমে বায়ুমণ্ডলকে উত্তপ্ত করে তাই বায়ুমণ্ডল CO_2-এর পরিমাণ বৃদ্ধি পৃথিবীব্যাপী বায়ুমণ্ডলের উষ্ণতা বৃদ্ধি ঘটাতে পারে।

8.16. বায়ুদূষণের সাধারণ উৎস [Common modes of pollution of air]

প্রধান প্রধান বায়ুদূষক গ্যাসগুলি হল ঃ **কার্বন মনোক্সাইড** (CO), **নাইট্রোজেনের অক্সাইডসমূহ, সালফার ডাইঅক্সাইড** (SO_2), **হাইড্রোকার্বন সমূহ** এবং **কলয়ডীয় কণাসমূহ।**

কার্বন মনোক্সাইড (CO) ঃ বায়ুমণ্ডলে CO নির্গত হয় প্রাকৃতিক এবং মনুষ্যসৃষ্ট প্রক্রিয়ায়। প্রাকৃতিক প্রক্রিয়ায়—আগ্নেয়গিরির অগ্ন্যুৎপাতের সময়, প্রাকৃতিক গ্যাস ও মার্শ গ্যাস নির্গমনের সময় এবং বজ্রপাতের সময় CO গ্যাস পরিবেশে আসে। মনুষ্যসৃষ্ট প্রক্রিয়া থেকে প্রচুর পরিমাণে CO বায়ুমণ্ডলে নির্গত হয়। যেমন ঃ **(i)** বায়ুমণ্ডলে উপস্থিত CO-এর প্রায় 60% আসে মোটর গাড়ির জ্বালানির অসম্পূর্ণ দহনে সৃষ্ট নির্গত ধোঁয়া থেকে। **(ii)** বনাঞ্চলে দাবানলে এবং বর্জ্য পদার্থের দহন থেকে এবং **(iii)** শিল্পে ব্যবহৃত চুল্লিতে কয়লার অসম্পূর্ণ দহনে সৃষ্ট CO বায়ুমণ্ডলে নির্গত হয়।

CO গ্যাস জীবজগতের পক্ষে অত্যন্ত ক্ষতিকারক, কারণ এই গ্যাস সহজেই রক্তের হিমোগ্লোবিনের সঙ্গে যুক্ত হতে পারে। এর ফলে হিমোগ্লোবিনের অক্সিজেন বহন ক্ষমতা হ্রাস পায় এবং অক্সিজেনের অভাবে শেষপর্যন্ত মৃত্যু ঘটে।

নাইট্রোজেনের অক্সাইডসমূহ ঃ নাইট্রোজেন অক্সাইডের মধ্যে N_2O, NO, NO_2, N_2O_3 এবং N_2O_5 হলো বায়ুদূষক। এর মধ্যে নাইট্রিক অক্সাইড (NO) প্রধান দূষক। প্রাকৃতিক এবং মনুষ্যসৃষ্ট—এই দুই প্রক্রিয়াতেই বায়ুমণ্ডলে নাইট্রোজেন অক্সাইড (NO_x) সমূহ বায়ুমণ্ডলে আসে। বায়ুমণ্ডলে নির্গত NO-এর বেশির ভাগই উৎপন্ন হয় বজ্র-বিদ্যুৎ ক্ষরণকালে বায়ুর O_2 এবং N_2 যুক্ত হয়ে।

$$N_2 + O_2 \xrightarrow[3000°C]{\text{বজ্র-বিদ্যুৎ}} 2NO$$

মাটিতে অবস্থিত অ্যামোনিয়া লবণ ব্যাকরেটিয়া দ্বারা বিভাজনের ফলে কিছু পরিমাণ NO বায়ুমণ্ডলে নির্গত হয়। বায়ুমণ্ডলে NO ধীরে ধীরে জারিত হয়ে NO_2-তে পরিণত হয়। শেষ পর্যন্ত নাইট্রোজেন অক্সাইড সমূহ HNO_2 এবং HNO_3-তে পরিণত হয় এবং বৃষ্টির সঙ্গে ভূপতিত হয়। **মনুষ্য-সৃষ্ট** বিভিন্ন তাপবিদ্যুৎ কেন্দ্রে বিদ্যুৎ উৎপন্নের জন্য বিপুল পরিমাণ জীবাশ্ম জ্বালানি কয়লার দহনে প্রচুর NO_2 এবং NO গ্যাস উৎপন্ন হয়। এছাড়া মোটরগাড়ির জ্বালানি রূপে ব্যবহৃত তরল জ্বালানির (প্রাকৃতিক গ্যাস, গ্যাসোলিন, ডিজেল প্রভৃতি) অসম্পূর্ণ দহনে নাইট্রোজেনের অক্সাইড উৎপন্ন হয়।

সালফার ডাইঅক্সাইড (SO_2) ঃ প্রাকৃতিক উপায়ে আগ্নেয়গিরির অগ্ন্যুৎপাত থেকে বায়ুমণ্ডলে প্রায় 70% SO_2 নির্গত হয়। মনুষ্যসৃষ্ট উৎসগুলি হলো ঃ তাপবিদ্যুৎ কেন্দ্রগুলিতে কয়লার দহনের ফলে, শিল্পাঞ্চল এবং গাড়ির ধোঁয়া থেকে SO_2 উৎপন্ন হয়। SO_2 মানুষের শরীরের পক্ষে খুবই ক্ষতিক্ষারক। এর প্রভাবে শ্বাসকষ্ট, ব্রঙ্কাইটিস এবং হাঁপানীর সৃষ্টি হয়।

কলয়ডীয় কণাসমূহ ঃ বিভিন্ন ক্ষুদ্রাতিক্ষুদ্র কণা বায়ুমণ্ডলে মিশে কলয়ডীয় অবস্থায় থাকে। ক্ষুদ্রাতিক্ষুদ্র কণাগুলো হল ঃ ধোঁয়া,

ধূলি, কুয়াশা, ধূম এবং ফ্লাই-অ্যাশ। এইসব ক্ষুদ্রাতিক্ষুদ্র কণার উৎসগুলি হল—**(i)** সিমেন্ট, অ্যাসবেস্টস কারখানা, **(ii)** তাপবিদ্যুৎ কেন্দ্র, খনি এবং খনিজ পদার্থ নিষ্কাশন, **(iii)** কাঠ, কয়লা, তেল এবং প্রাকৃতিক গ্যাস ইত্যাদির দহন।

● **মানবদেহে বায়ুদূষণের প্রভাবঃ**

বিভিন্ন বায়ুদূষক গ্যাস ও কণিকাসমূহ প্রতিনিয়ত বায়ুমণ্ডলে বায়ুর সাথে মিশ্রণের ফলে বিশুদ্ধ বায়ুর উপাদানগুলির নির্দিষ্ট অনুপাত বজায় থাকে না। এই সকল অবাঞ্ছিত উপাদান (বায়ুদূষক গ্যাস ও কণিকাসমূহ) সংযুক্ত হওয়ায় বায়ু দূষিত হয়ে পড়ছে। এই দূষিত বায়ুই প্রাণীজগতে জীবনধারণের জন্য ব্যবহার হচ্ছে—নিঃশ্বাস-প্রশ্বাসের মাধ্যমে এই দূষিত বায়ু দেহের অভ্যন্তরে প্রবেশ করছে এবং দূষিত ও বিষাক্ত দূষক গ্যাস ও কণিকাসমূহ মানবদেহের স্বাস্থ্যের ক্ষতি করছে এবং বিভিন্ন রোগের উৎপত্তি হচ্ছে। নীচে কয়েকটি প্রধান দূষক গ্যাসের মানবদেহের প্রভাব উল্লেখ করা হল।

(1) কার্বন মনোক্সাইড (CO)ঃ মানুষের রক্তের হিমোগ্লোবিনের অক্সিজেন বহন ক্ষমতা কমিয়ে দেয়। রক্তের লোহিত কণিকার হিমোগ্লোবিনের সাথে CO যুক্ত হয়ে কার্বোক্সিহিমোগ্লোবিন উৎপন্ন করে এবং অক্সিজেন সেখান থেকে CO-কে প্রতিস্থাপিত করতে পারে না। এর ফলে রক্তে প্রয়োজনের তুলনায় অক্সিজেন কমতে থাকে। অধিক পরিমাণ CO-এর উপস্থিতি অনেক সময় মৃত্যু পর্যন্ত ঘটাতে পারে। অল্প কার্বন মনোক্সাইডের উপস্থিতির ফলে মাথাধরা, শ্বাসকষ্ট, বমিভাব, ঝিমুনিভাব ইত্যাদি উপসর্গ দেখা দেয়।

(2) সালফার ডাইঅক্সাইড (SO_2) ঃ বায়ুমণ্ডলে উপস্থিত SO_2-এর সংস্পর্শে এলে চোখে জ্বালাভাব দেখা দেয় এবং শ্বাসনালীতে প্রদাহ সৃষ্টি করে। সালফার ডাইঅক্সাইড গ্যাসের প্রভাবে নাক, কান ও গলায় প্রদাহের বিভিন্ন রোগের সৃষ্টি হয়। সালফার ডাইঅক্সাইডের প্রভাবে ব্রঙ্কাইটিস, ফুসফুসজনিত রোগ, অ্যাজমা, এমনকি ফুসফুসে ক্যানসার পর্যন্ত হতে পারে। SO_2 বায়ুর অক্সিজেন (O_2) এবং জলীয় বাষ্প (H_2O)-এর সংস্পর্শে দীর্ঘ সময় থাকার ফলে বিক্রিয়া করে অ্যাসিড (প্রধানত সালফিউরিক অ্যাসিড) উৎপন্ন করে। সালফিউরিক অ্যাসিড সালফার ডাইঅক্সাইড গ্যাসের থেকে বেশি ক্ষতিকর। বৃষ্টির সাথে এইসব অ্যাসিড বৃষ্টি রূপে ভূপতিত হয়।

(3) নাইট্রোজেন অক্সাইডসমূহ (NO_x) ঃ নাইট্রোজেনের গ্যাসীয় অক্সাইড যৌগগুলির মধ্যে নাইট্রিক অক্সাইড (NO) এবং নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইড (NO_2) [একত্রে NO_x দ্বারা প্রকাশ করা হয়] বায়ুদূষক হিসাবে গুরুত্বপূর্ণ। নাইট্রোজেন অক্সাইড সমূহের প্রভাবে ফুসফুসজনিত—ব্রঙ্কাইটিস, নিউমোনিয়া, ফুসফুস প্রদাহ প্রভৃতি রোগ হয়। নাইট্রাস এবং নাইট্রিক অক্সাইড বায়ুমণ্ডলের অক্সিজেন এবং জলীয় বাষ্পের সঙ্গে বিক্রিয়ায় নাইট্রাস অ্যাসিড এবং নাইট্রিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে এবং বৃষ্টির সাথে মিশে অ্যাসিড বৃষ্টি রূপে মাটিতে ঝরে পড়ে।

(4) গ্যাসীয় হাইড্রোকার্বন ঃ বেশি মাত্রায় গ্যাসীয় হাইড্রোকার্বন বায়ুমণ্ডলে উপস্থিতির ফলে তীব্র শ্বাসকষ্ট এবং ফুসফুসে মারাত্মক ক্ষতি হয়। গ্যাসীয় বেনজিনঘটিত (পলি নিউক্লিয়ার অ্যারোমেটিক) যৌগ সমূহ, যেমন—বেনজিন, বেনজোপাইরিন প্রভৃতি ক্যানসার সৃষ্টিকারক অর্থাৎ এরা ক্যানসার হওয়ার প্রবণতা বৃদ্ধি করে। হাইড্রোকার্বন, নাইট্রোজেনের অক্সাইডসমূহ এবং বায়ুমণ্ডলের অক্সিজেন আলোক রাসায়নিক বিক্রিয়ায় আলোক রাসায়নিক ধোঁয়াশা (ফোটোকেমিক্যাল স্মগ) সৃষ্টি করে যার ফলে নাক, কান ও গলার বিভিন্ন রোগ হয়। এর প্রভাবে সর্দি, কাশি ও শ্বাসকষ্ট হয়।

(5) কণিকাসমূহ ঃ বায়ুবাহিত কণিকাসমূহ যথা ধূলি, ধূম, কুয়াশা, ধোঁয়াশা ও অন্যান্য ধাতব কণা প্রভৃতি মানবদেহের পক্ষে মারাত্মক ক্ষতিকারক। এর প্রভাবে প্রধানত নাক, কান, গলা এবং ফুসফুসজনিত বিভিন্ন রোগের সৃষ্টি হয়। যেমন ঃ গাড়ি থেকে নির্গত ধোঁয়ার মধ্যে লেড কণিকাসমূহ শিশুদের মস্তিষ্কের ক্ষতিসাধন এবং মানসিক অবসাদের সৃষ্টি করে। লেড কণিকাসমূহ রক্তে লোহিত কণিকার উৎপাদন ও বিকাশের বিঘ্ন ঘটায়। অন্যান্য ধাতব কণিকা যেমন—ক্যাডমিয়াম (Cd), বেরিলিয়াম (Be), কোবাল্ট (Co) প্রভৃতি শ্বাস-প্রশ্বাসের মাধ্যমে গ্রহণ করার ফলে ফুসফুসজনিত রোগ এবং হৃদরোগ হয়। সামান্য পরিমাণ পারদ (Hg) বাষ্প শ্বাস-প্রশ্বাসে গ্রহণের ফলে স্নায়ুতন্ত্রের মারাত্মক ক্ষতি সাধন করে এমনকি মৃত্যু পর্যন্ত হতে পারে। সিলিকার (SiO_2-বালুকণা) দীর্ঘদিন সংস্পর্শে ফুসফুসের সিলিকোসিস রোগ হয়।

● **অম্লবৃষ্টি** (Acid rain) ঃ অম্লবৃষ্টির অর্থ হল বৃষ্টির জলে অ্যাসিডের উপস্থিতি। সাধারণত বৃষ্টির জল মৃদু আম্লিক কারণ বাতাসের কার্বন ডাইঅক্সাইড বৃষ্টির জলে কার্বোনিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে। প্রকৃতপক্ষে যখন বৃষ্টির জলে অতিরিক্ত অ্যাসিড থাকে তখনই সেই বৃষ্টিকে অম্লবৃষ্টি বলে। অম্লবৃষ্টির প্রধান উপাদান হল ঃ **সালফিউরিক অ্যাসিড** (H_2SO_4), **নাইট্রিক অ্যাসিড** (HNO_3) এবং **হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড** (HCl)। অম্লবৃষ্টির প্রধান কারণ প্রধানত বায়ুদূষক সালফার ও নাইট্রোজেনের আম্লিক অক্সাইডগুলি

বায়ুর অক্সিজেন ও জলীয় বাষ্পের সঙ্গো বিক্রিয়ায় সালফিউরিক অ্যাসিড এবং নাইট্রিক অ্যাসিডে পরিণত হয়। এইভাবে বায়ুদূষক SO_2 এবং NO_2 থেকে সৃষ্ট H_2SO_4, HNO_3 এবং প্রাকৃতিক ও কলকারখানা থেকে উৎপন্ন HCl মিলিতভাবে বৃষ্টির জলের সঙ্গো ভূপতিত হলে তাকে অম্লবৃষ্টি বলে।

গাড়ির ধোঁয়া, তাপবিদ্যুৎ কেন্দ্র, তৈল শোধনাগার, ধাতু-নিষ্কাশন এবং অন্যান্য কলকারখানাতে জ্বালানির প্রয়োজনে ব্যবহৃত কয়লা ও তেল প্রভৃতি দহনের ফলে সালফার ও নাইট্রোজেনের আম্লিক অক্সাইডসমূহ উৎপন্ন হয়, যা বায়ুর অক্সিজেন ও জলীয় বাষ্পের সঙ্গো বিক্রিয়ায় অ্যাসিড উৎপন্ন করে।

বিক্রিয়া ঃ $2SO_2 + O_2 = 2SO_3$; $SO_3 + H_2O = H_2SO_4$

$NO + O_3 = NO_2 + O_2$; $2NO + O_2 = 2NO_2$

$NO_2 + O_3 = NO_3 + O_2$; $NO_2 + NO_3 = N_2O_5$

$$N_2O_5 + H_2O = 2HNO_3$$

অম্লবৃষ্টির প্রভাব ঃ (1) অম্লবৃষ্টির ফলে বিভিন্ন জলাশয়—পুকুর, নদী, নালা, হ্রদ প্রভৃতির জলে অম্লতা বেড়ে যায়, ফলে জলজ প্রাণী ও উদ্ভিদ-এর উপর ক্ষতিকারক প্রভাব পড়ছে এবং এদের উৎপাদন কমে যাচ্ছে। অসম প্রভাবের ফলে জলীয় ইকোসিস্টেমের (বাস্তুতান্ত্রিক) সমতা হারাচ্ছে।

(2) অম্লবৃষ্টি মানুষের স্নায়ুতন্ত্র, ফুসফুস, শ্বাসনালী এবং পরিপাক প্রক্রিয়া ক্ষতিগ্রস্থ করে।

(3) অম্লবৃষ্টি বাড়িঘর, ধাতব কাঠামো, লৌহনির্মিত সেতু, মার্বেল পাথরের ঐতিহাসিক স্থাপত্য (তাজমহল ও ভিক্টোরিয়া মেমোরিয়াল), ধাতব মূর্তি সহ পুরাতন শিল্প, স্থাপত্য, ভাস্কর্যের ব্যাপক ক্ষতি করছে। মার্বেল পাথরের তৈরি অট্টালিকা এবং ঐতিহাসিক স্থাপত্যগুলির উপর অ্যাসিড বৃষ্টির ফলে ওইগুলির ওপর একটি স্তর পড়ে যায়, ফলে ওইগুলিকে মলিন দেখায়। কিছুদিন পর উপরের আস্তরণ ভেঙ্গো ঘসে পড়তে থাকে—একেই **স্টোন ক্যানসার** বলে।

8.17. ওজোন স্তরের গুরুত্ব এবং গুরুত্বপূর্ণ বিক্রিয়া [Importance of Ozone layer and important reactions]

পৃথিবীর বায়ুমণ্ডলকে পাঁচটি স্তরে ভাগ করা হয়। এর মধ্যে **ট্রপোস্ফিয়ার** হলো ভূপৃষ্ঠ সংলগ্ন বায়ুমণ্ডলের সবচেয়ে নীচের স্তর। ভূপৃষ্ঠ থেকে এই স্তরের বিস্তৃতি হল প্রায় 11 কিমি পর্যন্ত। এই স্তরেই মানুষ এবং অন্যান্য জীবজগত বাস করে। এর উপরের স্তরটি হলো **স্ট্র্যাটোস্ফিয়ার** (stratosphere) এবং এই স্তর ভূপৃষ্ঠের উপর 11 থেকে 50 কিমি পর্যন্ত বিস্তৃত। স্ট্র্যাটোস্ফিয়ারের নিম্নাঞ্চলে (ভূপৃষ্ঠের উপর 15 থেকে 35 কিমি) ওজোন গ্যাসের একটি আস্তরণ আছে। বায়ুমণ্ডলের মোট ওজোনের শতকরা 90 ভাগ এই স্তরে থাকে। এই স্তরকে **ওজোনস্তর** বা **ওজোনস্ফিয়ার** বলা হয়। ওজোনস্তরের ঘনত্ব নিরক্ষীয় অঞ্চলের উপর কম থাকে কিন্তু মেরু অঞ্চলের উপর বেশি থাকে।

সূর্যকিরণ থেকে আগত অতিবেগুনি রশ্মির প্রভাবে স্ট্র্যাটোস্ফিয়ারে অবস্থিত অক্সিজেন অণু অক্সিজেন পরমাণুতে ভেঙে যায়। এই পারমাণবিক অক্সিজেন আণবিক অক্সিজেনের সঙ্গো যুক্ত হয়ে ওজোন অণুর সৃষ্টি করে।

$$O_2 \xrightarrow{h\nu} O + O \quad \ldots\ldots (1)$$
$$O_2 + O \longrightarrow O_3 \quad \ldots\ldots (2)$$

স্ট্র্যাটোস্ফিয়ারে এই ওজোন স্তর না থাকলে জীবজগতের অস্তিত্ব বিপন্ন হত। স্ট্র্যাটোস্ফিয়ারের এই ওজোন স্তর সূর্যকিরণ থেকে আগত **ক্ষতিকর অতিবেগুনি রশ্মি শোষণ করে নেয়।** ফলে জীব ও উদ্ভিদের পক্ষে ক্ষতিকর অতিবেগুনি রশ্মি পৃথিবীর পৃষ্ঠে এসে পৌঁছাতে পারে না। যদিও অতিবেগুনি রশ্মি শোষণ করে ওজোন অণু অক্সিজেন অণু ও পরমাণুতে ভেঙ্গো যায়। কিন্তু পারমাণবিক অক্সিজেন আবার অক্সিজেন অণুর সঙ্গো যুক্ত হয়ে ওজোনে পরিণত হয়। সেজন্য বায়ুমণ্ডলে O_3 উৎপাদন এবং বিভাজন প্রক্রিয়া প্রাকৃতিক উপায়ে নিরবচ্ছিন্নভাবে চলতে থাকে, ফলে ওজোনের সাম্যাবস্থার কোনো পরিবর্তন হয় না।

$$O_3 \xrightarrow{h\nu} O_2 + O \quad \ldots\ldots (3)$$
$$O_2 + O \longrightarrow O_3 \quad \ldots\ldots (2)$$

ওজোন অণু পারমাণবিক অক্সিজেনের সঙ্গো যুক্ত হয়ে অক্সিজেন অণু তৈরি করে। এই বিক্রিয়ার ফলে ওজোন নষ্ট হয়ে যায়।

$$O + O_3 \longrightarrow O_2 + O_2 \quad \ldots\ldots (4)$$

ওজোন স্তরের ক্ষয় ঃ সম্প্রতি পৃথিবীর উপর স্ট্র্যাটোস্ফিয়ারের নানা স্থানে কমবেশি ওজোনস্তরের ক্ষয় লক্ষ করা যাচ্ছে।

এর মধ্যে সবচেয়ে ক্ষয়প্রাপ্ত হয়েছে আন্টার্কটিকার উপরের ওজোন স্তর। আমেরিকার আয়তনের তিনগুণ আয়তনযুক্ত অঞ্চল জুড়ে আন্টার্কটিকার স্ট্র্যাটোস্ফিয়ারের ওজোন স্তরের ঘনত্ব প্রায় 80% (আশি) কমে গেছে। একে আন্টার্কটিকার **'ওজোন হোল'** বলে। অ্যান্টার্কটিকা সবচেয়ে ক্ষতিগ্রস্থ হওয়ার অন্যতম প্রধান কারণ ওই অঞ্চলের বিশেষ আবহাওয়া। তবে বিজ্ঞানীদের ধারণা যে এই ওজোন স্তরের ক্ষয় আন্টার্কটিকা সংলগ্ন অঞ্চলে খুব দ্রুত ছড়িয়ে যাবে। এই অঞ্চলগুলি হল অস্ট্রেলিয়া, নিউজিল্যান্ড, আর্জেন্টিনা, চিলি, ব্রাজিল, উরুগুয়ে প্রভৃতি। ওজোন স্তরের ক্ষয় হওয়ার ফলে বেশি পরিমাণ অতিবেগুনি রশ্মি পৃথিবীপৃষ্ঠে আসবে। বেশি পরিমাণ অতিবেগুনি রশ্মির প্রভাবে—**(i)** মানুষের ত্বকের ক্যানসার ও চোখের ছানি বাড়বে, **(ii)** রোগ প্রতিরোধ ক্ষমতা (immunity) কমে যাবে, ফলে রোগ সংক্রমণ বাড়বে। **(iii)** উদ্ভিদ জগতে সালোকসংশ্লেষ বিঘ্নিত হবে, **(iv)** সমুদ্রজলে ফাইটোপ্ল্যাঙ্কটন উৎপাদন ক্ষতিগ্রস্থ হবে এবং সামুদ্রিক ইকোসিস্টেমে প্রভাব পড়বে।

ক্লোরোফ্লোরো কার্বন (Chlorofluoro Carbons, সংক্ষেপে CFC) থেকে উৎপন্ন ক্লোরিন ব্যাপকভাবে ওজোনস্তরের ক্ষতি করে। [মিথেন ও ইথেনের বিভিন্ন ক্লোরিন, ফ্লুওরিন এবং ব্রোমিন প্রতিস্থাপিত জাতককে একত্রে **হ্যালোন** (halon) বলে। CFC হলো মিথেন এবং ইথেনের বিভিন্ন ক্লোরিন ও ফ্লুওরিন জাতক]। CFC সহ হ্যালোজেন গ্যাসগুলি ট্রপোস্ফিয়ারে নিষ্ক্রিয় এবং অদ্রাহ্য। এই গ্যাসগুলি ব্যাপকভাবে হিমায়করূপে রেফ্রিজারেটর, শীততাপনিয়ন্ত্রিত যন্ত্র, অগ্নিনির্বাপক হিসাবে ব্যবহৃত হয়। **ক্লোরোফ্লোরো কার্বন** (CFC) স্ট্র্যাটোস্ফিয়ারে ওজোন স্তর ধ্বংসে **অনুঘটক রূপে কাজ করে**। এই গ্যাসগুলি ট্রপোস্ফিয়ারে নিষ্ক্রিয় থাকে এবং ধীরে ধীরে উপরের দিকে (প্রায় 6–8 বছর সময় লাগে) স্ট্র্যাটোস্ফিয়ারে এসে পৌঁছায়। স্ট্র্যাটোস্ফিয়ারে সূর্যালোক থেকে আগত অতিবেগুনি রশ্মির প্রভাবে এই গ্যাসগুলি বিয়োজিত হয়ে ক্লোরিন পরমাণু অথবা মুক্ত মূলক (•Cl) উৎপন্ন করে; যা ওজোন স্তরকে ধ্বংস করে। উৎপন্ন ক্লোরিন ওজোন অণুকে ভাঙতে অনুঘটক হিসাবে কাজ করে। যেমন—ক্লোরিন মুক্ত মূলক (Cl•) O_3-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে অক্সিজেন এবং ক্লোরিন মনোক্সাইড উৎপন্ন করে। উৎপন্ন ক্লোরিন মনোক্সাইড আবার ওজোনের সঙ্গে বিক্রিয়া করে দুই অণু অক্সিজেন এবং ক্লোরিন পরমাণু অথবা মুক্ত মূলক উৎপন্ন করে। এই ক্লোরিন পরমাণু আরো O_3-কে O_2-এ পরিণত করে। এই প্রক্রিয়া চক্রাকারে চলতে থাকে। এইরূপে উৎপন্ন ক্লোরিন পরমাণু বা মুক্ত মূলক অনেকদিন স্ট্র্যাটোস্ফিয়ারে সক্রিয় থাকে। দেখা গেছে যে, একটি ক্লোরিন পরমাণু প্রায় 1 লাখ (100,000) ওজোন অণুকে ভাঙতে সক্ষম।

বিক্রিয়া ঃ $\underset{\text{(ফ্রেয়ন—11)}}{CFCl_3} \xrightarrow{h\nu} \cdot CFCl_2 + Cl\cdot$; $\underset{\text{(ফ্রেয়ন—12)}}{CF_2Cl_2} \xrightarrow{h\nu} \cdot CF_2Cl + Cl\cdot$

$$Cl\cdot + O_3 \longrightarrow ClO\cdot + O_2 \quad ; \quad ClO\cdot + O_3 \longrightarrow 2O_2 + Cl\cdot$$

●আন্টার্কটিকার বসন্তকালীন ওজোন ছিদ্র ঃ

আন্টার্কটিকার স্ট্র্যাটোস্ফিয়ারের ওজোন স্তর সবচেয়ে বেশি ক্ষয় হয়েছে। 1992 খ্রিস্টাব্দে NASA-র বিজ্ঞানীরা প্রথম লক্ষ করেন যে বিশেষত সেপ্টেম্বর মাসে আন্টার্কটিকার ওজোন স্তরে আমেরিকার তিনগুণ আয়তনের সমান এক মহাছিদ্র সৃষ্টি হয়েছে এবং প্রতি বছর বসন্তকালে, যা আন্টার্কটিকায় সেপ্টেম্বর-অক্টোবর মাস, এই মহাছিদ্র সৃষ্টি হয়। আন্টার্কটিকায় বসন্তের আগে অর্থাৎ মার্চ থেকে আগস্ট মাস পর্যন্ত বায়ুমণ্ডল প্রচণ্ড ঠান্ডা থাকে—প্রায় –90°C পর্যন্ত তাপমাত্রায় নেমে যায়। এইসময় আন্টার্কটিকার স্ট্র্যাটোস্ফিয়ারের নীচের দিকের তাপমাত্রা কমে যায় ফলে জলীয়বাষ্প এবং বায়ুমণ্ডলীয় বিভিন্ন রাসায়নিক ও দূষক গ্যাসগুলি এক সাথে জমাট বেঁধে মেরুদেশীয় স্ট্র্যাটোস্ফিয়ার মেঘে (polar stratospheric cloud : PSC) পরিণত হয়। এইসময় দক্ষিণ মেরুতে হিম শীতল অন্ধকার রাত প্রায় 6 মাস ধরে চলতে থাকে—সূর্যের দেখা পাওয়া যায় না। স্ট্র্যাটোস্ফিয়ার মেঘে আবদ্ধ থাকা বিভিন্ন রাসায়নিক ও গ্যাসগুলির বিক্রিয়ায় ক্রমাগত Cl_2, HOCl উৎপন্ন করে যা স্ট্র্যাটোস্ফিয়ার মেঘের মধ্যেই আটকে থাকে আর জমা হতে থাকে।

$$ClONO_2 + H_2O \longrightarrow HOCl + HNO_3$$
$$ClONO_2 + HCl \longrightarrow Cl_2 + HNO_3$$

শীতকাল শেষ হলে পর বসন্তের আগমনে (সেপ্টেম্বর—অক্টোবর) সূর্যের আলোতে মেরুদেশীয় স্ট্র্যাটোস্ফিয়ার মেঘের ধ্বংস হয় এবং আলোক রাসায়নিক বিক্রিয়ায় উৎপন্ন প্রচুর পরিমাণে ওজোন ধ্বংসী Cl• সৃষ্টি করে যা ওজোন স্তরের ক্ষয় করে।

$$HOCl \xrightarrow{h\nu} HO\cdot + Cl\cdot \quad ; \quad Cl_2 \xrightarrow{h\nu} Cl\cdot + Cl\cdot$$
$$Cl\cdot + O_3 \longrightarrow ClO\cdot + O_2$$

● **ওজোন স্তর ক্ষয়ের প্রভাব ঃ**

স্ট্র্যাটোস্ফিয়ারের ওজোন স্তর সূর্যালোকের অতিবেগুনি রশ্মি (*UV* ray) শোষিত করে ফলে ক্ষতিকারক এই *UV*-রশ্মি ভূপৃষ্ঠে পৌঁছাতে পারে না। তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পার্থক্য অনুসারে *UV* রশ্মি তিনপ্রকার, যথা— *UV-A*, *UV-B* এবং *UV-C*। এর মধ্যে *UV-A* রশ্মি মানবদেহের পক্ষে তেমন ক্ষতিকারক না হলেও, *UV-B* (তরঙ্গদৈর্ঘ্য 280 nm থেকে 320 nm) মানবদেহ এবং জীবজগতের পক্ষে সবচেয়ে মারাত্মক। ওজোনস্তরের ঘনত্ব কমে যাওয়ার জন্য *UV-B* ভূপৃষ্ঠে পৌঁছাতে পারছে, যার ফলে জীবজগতের উপর অতিবেগুনি রশ্মি ক্ষতিকারক প্রভাব পড়ছে।

(1) অতিবেগুনি রশ্মির প্রভাবে মানব **দেহের ত্বকে ক্যানসার, চোখে ছানি** দেখা দেবে। বেশি পরিমাণে আগত অতিবেগুনি রশ্মি বায়ুমণ্ডলের উষ্ণতা বাড়িয়ে দেবে।

(2) দীর্ঘদিন অতিবেগুনি রশ্মির সংস্পর্শে থাকলে রোগ প্রতিরোধ ক্ষমতা কমে যায় ফলে সংক্রামক রোগের প্রকোপ বৃদ্ধি পাবে।

(3) ট্রপোস্ফিয়ারে অতিরিক্ত অতিবেগুনি রশ্মির উপস্থিতির ফলে আলোক রাসায়নিক বিক্রিয়ায় ধোঁয়াশার সৃষ্টি (photochemical smog) হয়, যার ফলে ব্রঙ্কাইটিস, শ্বাসনালীর প্রদাহ সৃষ্টি হয় এবং শরীরের রোগ প্রতিরোধ ক্ষমতা হ্রাস পায়।

(4) অতিরিক্ত অতিবেগুনি রশ্মির প্রভাবে পুকুর, নদী-নালা ও অন্যান্য জলাশয়ের জলজ প্রাণী ও মাছের খাদ্য ভাসমান উদ্ভিদ ধ্বংস হয়ে যাবে। ফলে বাস্তুতন্ত্রে জলাশয়ে প্রাণীর খাদ্যের ঘাটতি দেখা দেবে। এরজন্য মাছের উৎপাদন বিশেষভাবে হ্রাস পাবে।

(5) অতিরিক্ত অতিবেগুনি রশ্মির প্রভাবে উদ্ভিদের সালোকসংশ্লেষ ক্ষমতা কমে যাবে, বীজের অঙ্কুরোদ্গম বিঘ্নিত হবে, ফলে গাছের উৎপাদন ক্ষমতা অনেক কমে যাবে এবং খাদ্যাভাব দেখা দেবে।

8.18. সবুজ ঘর প্রভাব বা গ্রিন হাউস এফেক্ট [Green house effect]

গ্রিন হাউস এফেক্ট একটি স্বাভাবিক প্রাকৃতিক প্রক্রিয়া। সূর্যরশ্মি (ক্ষুদ্র তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোকরশ্মি) বায়ুমণ্ডল ভেদ করে পৃথিবীপৃষ্ঠ এবং পৃথিবীপৃষ্ঠের বায়ুমণ্ডলকে উত্তপ্ত করে। উত্তপ্ত ভূপৃষ্ঠ থেকে বিকিরিত বেশি তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অতিলোহিত রশ্মিকে (infra-red radiation) বায়ুমণ্ডলে উপস্থিত কিছু গ্যাস (প্রধানত CO_2, H_2O, CH_4) শোষণ করে এই বিকিরণের কিছুটা রোধ করে। এই শোষিত তাপশক্তির কিছুটা পৃথিবীপৃষ্ঠে প্রতিফলিত হয় ফলে পৃথিবীপৃষ্ঠ এবং ওর সংলগ্ন বায়ুমণ্ডলকে গরম রাখে। বায়ুমণ্ডলের কতকগুলি গ্যাস তাপশক্তি শোষণ করে ভূপৃষ্ঠকে গরম রাখার এই প্রাকৃতিক প্রক্রিয়াকে **গ্রিন হাউস এফেক্ট** বলে। এই সাধারণ গ্রিন হাউস এফেক্ট না থাকলে ভূপৃষ্ঠের গড় তাপমাত্রা প্রায় $-18°C$ হতো, যা মানুষ সহ সমগ্র জীবজগতের বেঁচে থাকার পক্ষে অত্যন্ত প্রতিকূল পরিবেশ। কিন্তু বর্ধিত গ্রিন হাউস এফেক্ট খুবই মারাত্মক।

শীতপ্রধান দেশে বিশেষ করে শীতকালে গুরুত্বপূর্ণ ফল-ফুল চাষের অনুকূল পরিবেশ না থাকায় প্রচণ্ড ঠান্ডায় ওইগুলির চাষ করা সম্ভব হয় না। কিন্তু শীতপ্রধান দেশে কাচের ঘরের মধ্যে ওইসব ফল ও ফুলের চাষ করা সম্ভব। সবুজ ঘরের কাচের দেয়াল এবং ছাদ ভেদ করে সূর্যালোক প্রবেশ করে ঘরের ভিতর মাটি এবং পরিবেশ উত্তপ্ত করে। উত্তপ্ত মাটি বেশি তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অতিলোহিত রশ্মি বিকিরণ করে যা কাচের ভিতর দিয়ে বেরিয়ে যেতে পারে না। কাচ এই রশ্মির কিছুটা শোষণ করে উত্তপ্ত হয় এবং কিছুটা ঘরের ভেতরে প্রতিফলিত করে। ফলে সবুজ ঘরের ভিতরের পরিবেশ বাইরের পরিবেশের চেয়ে গরম থাকে। কাচঘর নিয়ন্ত্রিত উষ্ণতায় থাকে বলে শীতের দেশে গ্রীষ্মকালীন সবজি, ফুল, ফল চাষ করা সম্ভব হয়।

এই সবুজ ঘরের সঙ্গে প্রকৃতির তুলনা করা যায়। বায়ুমণ্ডলের মধ্যস্থ CO_2 মিথেন এবং জলীয় বাষ্প সবুজ ঘরের কাচের দেয়ালের মতো কাজ করে। সূর্যের ক্ষুদ্র তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো বায়ুমণ্ডলের CO_2, H_2O ভেদ করে ভূপৃষ্ঠে চলে আসে এবং ভূপৃষ্ঠ উত্তপ্ত হয় কিন্তু উত্তপ্ত ভূপৃষ্ঠ থেকে বিকিরিত অপেক্ষাকৃত বড়ো তরঙ্গদৈর্ঘ্যের রশ্মিগুলিকে CO_2, H_2O শোষণ করে। এরা রশ্মি শোষণ করে উত্তপ্ত হয় এবং কিছুটা রশ্মি পৃথিবীপৃষ্ঠে প্রতিফলিত করে ভূপৃষ্ঠকে উত্তপ্ত রাখে।

বায়ুমণ্ডলের যে সব গ্যাস পৃথিবীকে ঢাকনার মতো ঢেকে রেখে উত্তপ্ত পৃথিবীপৃষ্ঠ থেকে বিকিরিত বড়ো তরঙ্গদৈর্ঘ্যের রশ্মিগুলিকে শোষণ করে ভূপৃষ্ঠ ও বায়ুমণ্ডলকে উত্তপ্ত রাখে তাদের **গ্রিন হাউস গ্যাস** বলে। গ্রিন হাউস গ্যাসগুলি হল ঃ **জলীয় বাষ্প, কার্বন ডাইঅক্সাইড** (CO_2), **মিথেন** (CH_4), **নাইট্রাস অক্সাইড** (N_2O), **ওজোন** (O_3) এবং **ক্লোরোফ্লোরো কার্বন** (CFC) ইত্যাদি।

গত 200 বছর ধরে, জনসংখ্যা বৃদ্ধির সাথে সাথে শিল্প বিপ্লব ও বনাঞ্চল ধ্বংস করে কৃষিক্ষেত্র বৃদ্ধির ফলে পৃথিবীর বায়ুমণ্ডলে ক্রমাগত CO_2-এর পরিমাণ বৃদ্ধি পাচ্ছে। এছাড়াও মনুষ্যসৃষ্ট কারণে অন্যান্য গ্রিন হাউস গ্যাসের পরিমাণ ক্রমাগত বায়ুমণ্ডলে বৃদ্ধি পাচ্ছে। গ্রিন হাউস গ্যাসের পরিমাণ বৃদ্ধির ফলে ভূপৃষ্ঠ এবং বায়ুমণ্ডলের তাপমাত্রা ক্রমশ বেড়ে চলেছে। এই ঘটনাকে **'গ্লোবাল ওয়ার্মিং'** (global warming) বলা হয়।

●গ্রিন হাউস গ্যাসসমূহের উৎস ঃ

(i) কার্বন ডাইঅক্সাইড (CO_2) ঃ গত 200 বছরে প্রায় 30% বৃদ্ধি হয়েছে। CO_2 বৃদ্ধির প্রধান উৎস হল জীবাশ্ম জ্বালানির (fossil fuel) দহন এবং বনাঞ্চল ধ্বংস। সারা পৃথিবীতে বহুসংখ্যক কলকারখানায় কয়লা, পেট্রল, ডিজেল, প্রাকৃতিক গ্যাস দহনের ফলে, তাপবিদ্যুৎ কেন্দ্রগুলিতে কয়লার দহনে, বিভিন্ন যানবাহনে ডিজেল, পেট্রল, গ্যাসোলিনের দহনের ফলে এবং বনাঞ্চল ধ্বংসের ফলে CO_2 এর পরিমাণ ক্রমাগত বৃদ্ধি পাচ্ছে।

(ii) মিথেন (CH_4) ঃ গত 200 বছরে প্রায় 15% বৃদ্ধি হয়েছে। সাধারণত ধানক্ষেত, জলাভূমি, কয়লা খনি এবং গরু, ঘোড়া, ছাগল প্রভৃতি গৃহপালিত পশুর বর্জ্যপদার্থ থেকে মিথেন বায়ুমণ্ডলে নির্গত হয়।

(iii) নাইট্রাস অক্সাইড (N_2O) ঃ প্রধানত কলকারখানা থেকে, কৃষিক্ষেত্রে ব্যবহৃত রাসায়নিক সার থেকে এবং গাছ-গাছড়া দহনের ফলে N_2O বৃদ্ধি পাচ্ছে।

CO_2 বায়ুমণ্ডলে 100 বছর অপরিবর্তিত অবস্থায় থাকতে পারে কিন্তু মিথেন সর্বাধিক 11 বছর অপরিবর্তিত অবস্থায় থাকে। নাইট্রাস অক্সাইড (N_2O) এবং কিছু ক্লোরোফ্লোরো কার্বন (CFC) বায়ুমণ্ডলে 100 বছরেরও বেশি অবস্থান করতে পারে।

সব গ্রিন হাউস গ্যাসের তাপ ধারণ করে বায়ুমণ্ডলকে উত্তপ্ত করার ক্ষমতা এক নয়। যেমন—এক কিলো মিথেন এক কিলো CO_2-এর থেকে 20 গুণ বেশি বায়ুমণ্ডলের উষ্ণতা বাড়াতে পারে।

● গ্রিন হাউস এফেক্টের পরিণাম (Consequences of green house effect) ঃ

(1) হিসাব করে দেখা গেছে যে গ্রিন হাউস গ্যাসগুলির বৃদ্ধির ফলে বিশেষত CO_2 বৃদ্ধির ফলে এই শতাব্দীর শেষ নাগাদ ভূপৃষ্ঠের গড়-তাপমাত্রা 1·5 থেকে 4·5°C পর্যন্ত বৃদ্ধি পাবে।

(2) পৃথিবীপৃষ্ঠের তাপমাত্রা বৃদ্ধির ফলে মেরুঅঞ্চলের, গ্রিনল্যান্ড ও আন্টার্কটিকার বিশাল বরফের স্তূপ গলতে থাকবে ফলে 2100 সালের মধ্যে সমুদ্র জলের তল 88 সেমি পর্যন্ত উঠে আসবে।

(3) সমুদ্র জলের পরিমাণ বৃদ্ধির ফলে উপকূলের কাছে থাকা বহু বিখ্যাত শহর, সমুদ্রতীরবর্তী অঞ্চল এবং বহু দ্বীপ জলমগ্ন হবে। যেমন—মিশর, বাংলাদেশ, মরিসাস, সুন্দরবন অঞ্চল, মিসিসিপি নদী এবং উপকূলবর্তী বিস্তীর্ণ অঞ্চল জলমগ্ন হবে।

(4) দুর্যোগপূর্ণ আবহাওয়া যেমন—তাপপ্রবাহ, বন্যা, ক্ষরা, দাবানল ইত্যাদি বেড়ে যাবে। ফলে বনাঞ্চল, জলাভূমি এবং অন্যান্য ইকোসিস্টেমে ভীষণভাবে ক্ষতিগ্রস্ত হবে।

(5) আবহাওয়া পরিবর্তনের ফলে বৃষ্টিপাতের তারতম্য এবং তাপমাত্রা বৃদ্ধির ফলে কৃষিকার্য ও খাদ্য-উৎপাদন ব্যাহত হবে।

8.19. ধোঁয়াশা [Smog]

1952 খ্রিস্টাব্দে শরৎকালে লন্ডন শহর টানা পাঁচদিন কুয়াশার চাদরে ঢাকা ছিল। বিভিন্ন বয়সের অসংখ্য মানুষ অসুস্থ হয়ে পড়েছিল এবং প্রায় 4000 মানুষ ওই ভয়াল কুয়াশায় প্রাণ হারান। পরবর্তীকালে জানা গেছে যে মোটরগাড়ি এবং কলকারখানা থেকে নির্গত বিষাক্ত গ্যাস (প্রধানত SO_2) কুয়াশার সঙ্গে মিশে যাওয়ার ফলে ওই দুর্ঘটনা ঘটেছিল। এক ইংরেজ ডাক্তার এই ধোঁয়া ও কুয়াশার মিশ্রণের নাম দেন **ধোঁয়াশা** (Smog = smoke + fog).

এইরকম ধোঁয়াশাঘটিত দুর্ঘটনা একাধিক শহরে ঘটেছে। এমনকি শীতকালে দিল্লি, মুম্বাই এবং কলকাতাতেও ধোঁয়াশা প্রায়শই লক্ষ করা যায়।

সাধারণ অবস্থায় ভূপৃষ্ঠ থেকে উপরের দিকে বায়ুস্তরের উষ্ণতা কম থাকার ফলে ভূপৃষ্ঠ সংলগ্ন বায়ুস্তর গরম হলে উপরের দিকে চলে যায় নতুন ও তাজা বায়ু নীচের স্তরে চলে আসে। কিন্তু শীতকালে খুব ঠান্ডা অবস্থায়, ভূপৃষ্ঠ সংলগ্ন বায়ুস্তর খুব ঠান্ডা হওয়ার ফলে ওই বায়ুস্তর উপরের বায়ুস্তর (অপেক্ষাকৃত গরম) দ্বারা প্রতিস্থাপিত হতে পারে না। এই অবস্থায় ভূপৃষ্ঠ সংলগ্ন বায়ুতে কুয়াশা এবং গাড়ির ধোঁয়া ও কলকারখানা থেকে নির্গত বিষাক্ত গ্যাসগুলি (নাইট্রোজেন অক্সাইডসমূহ, অসম্পৃক্ত হাইড্রোকার্বন, SO_2, CO, O_3, H_2O, জৈব পারঅক্সাইড, হাইড্রোপারঅক্সাইড প্রভৃতি) মিশে ধোঁয়াশার সৃষ্টি হয়। শীতকালে সন্ধ্যের পর থেকে সকাল পর্যন্ত প্রধানত শহরাঞ্চলে ধোঁয়াশার সৃষ্টি হয়।

ধোঁয়াশার প্রভাব ঃ (1) ধোঁয়াশায় উপস্থিত O_3 এবং অন্যান্য জারক পদার্থসমূহ চোখ ও নাকে জ্বালার সৃষ্টি করে। **(2)** নাক বন্ধ হয়ে যায়, হাঁচি ও কাশি হয়। **(3)** সর্দি, কাশি, শ্বাসকষ্ট এবং বুকের অসুখ দেখা যায়।

8.20. জলের পরিবেশগত ভূমিকা [Water and its role in environment]

জল যেকোনো জীবের জীবনধারণের জন্য এক অপরিহার্য পদার্থ। প্রতিটি মানুষ গড়ে প্রতিদিন 2–3 লিটার জল গ্রহণ করে। মানুষের শরীরের মোট ভরের 70 ভাগ-ই জল। পৃথিবীপৃষ্ঠ 80% জল দ্বারা আবৃত। এর মধ্যে 97 ভাগই সামুদ্রিক জল যা

ব্যবহারযোগ্য নয়, 2% জল মেরুঅঞ্চলে ও পর্বতশৃঙ্গে বরফ রূপে জমা থাকে। মাত্র 1% জল যা নদী, ঝর্ণা, হ্রদ বা পুকুরে থাকে তাই মানুষ বিভিন্ন প্রয়োজনে ব্যবহার করতে পারে। বায়ুতে উপস্থিত কার্বন ডাইঅক্সাইড, সালফারের বিভিন্ন অক্সাইড (SO_x), নাইট্রোজেনের বিভিন্ন অক্সাইডগুলি (NO_x) এবং স্থলভাগে উপস্থিত বিভিন্ন দূষক বৃষ্টিপাতের ফলে জলবাহিত হয়ে জলের প্রাকৃতিক উৎসগুলি, যেমন—নদী, সমুদ্র, হ্রদ, পুকুর প্রভৃতিতে গিয়ে পড়ে। এইসব জায়গার জল দূষিত পদার্থকে জৈব রাসায়নিক প্রক্রিয়ার মাধ্যমে বিভাজিত করে দূষণ মুক্ত করে পরিবেশের ব্যবহারযোগ্য করে। নদী, হ্রদ পুকুরের জল হল **স্বাদু জল** (fresh water) এবং সমুদ্রের জল হল নোনতা। বিভিন্ন জলের উৎসে বিভিন্ন ইকোসিস্টেম বর্তমান থাকে। সমুদ্রের জলে উপস্থিত ইকোসিস্টেমকে মেরিন **ইকোসিস্টেম** বলে।

8.21. জল দূষণের সাধারণ উৎস [Common modes of pollution of water]

ভূপৃষ্ঠের উপরিভাগে নদী, হ্রদ, পুকুর ও অন্যান্য জলাশয়ের জল সহজেই দূষণযোগ্য। কারণ এই উন্মুক্ত জলভাগে বিভিন্ন উৎস থেকে বহুবিধ দূষক সহজেই মিশতে পারে। জলে প্রতিনিয়ত দ্রবীভূত ও বায়ুমণ্ডলীয় গ্যাসের বিনিময় হয়। আবার মানুষ দ্বারা সৃষ্ট দূষণের মাত্রা আরও বৃদ্ধি করে। ভূপৃষ্ঠের উপরিভাগের জল দূষণের প্রধান উৎসগুলি হলো ঃ

(i) নর্দমার ময়লা ও বর্জ্যপদার্থ, **(ii)** সংক্রামক রোগজীবাণুবাহী পদার্থ, **(iii)** মাটি ও খনিজ পদার্থের সূক্ষ্মকণাদি, **(iv)** দ্রবীভূত বিষাক্ত দূষকসমূহ, **(v)** খনিজ ও রাসায়নিক পদার্থ, **(vi)** তাপীয় দূষণ, **(vii)** তেজস্ক্রিয় পদার্থ, **(viii)** অজৈব রাসায়নিক পদার্থ।

ভূপৃষ্ঠের 70% জলভাগ অবস্থান করলেও মোট জলসম্পদের মধ্যে স্বাদুজলের পরিমাণ অত্যন্ত কম—প্রায় 1%। আবার মোট স্বাদু জলের প্রায় 98 শতাংশই ভূপৃষ্ঠের নীচে অবস্থান করে। মানুষের দৈনন্দিন জীবনে ভৌমজল এক অমূল্য সম্পদ। জলসেচ, শিল্পকর্ম, গৃহস্থালী ও পানীয় জলের জন্য ভৌমজলের উপর মানুষ নির্ভরশীল। ভৌমজল দূষণের প্রধান উৎসগুলি হল—

(i) গৃহস্থলীর বর্জ্যপদার্থ ঃ আবর্জনা ও পয়ঃপ্রণালীর ময়লা জল ভৌমজলের সঙ্গে মিশে।

(ii) শিল্পজাত বর্জ্যপদার্থ ঃ বিষাক্ত ভারী ধাতু, বিভিন্ন তরল ও কঠিন বর্জ্য পদার্থ, বিভিন্ন জৈব ও অজৈব দূষক।

(iii) কৃষিবর্জ্য পদার্থ ঃ সার, কীটনাশক, আগাছানাশক প্রভৃতি।

● দূষিত জলের প্রকৃতি ও তার প্রভাব ঃ

দূষিত জলে উপস্থিত বিভিন্ন ক্ষতিকারক পদার্থের প্রকৃতি অনুযায়ী জলদূষকগুলিকে কয়েকটি ভাগে ভাগ করা যায়—

(1) অক্সিজেন গ্রাহক বর্জ্য পদার্থ ঃ গৃহস্থালী ও বিভিন্ন কলকারখানার নর্দমার ময়লা জলে সাধারণ অনেক দূষক জৈব প্রকৃতির। যেমন—চিনি, দুধ, তেল, স্টার্চ, প্রোটিন, চর্বি, সাবান, সুতো, কাগজ ইত্যাদি বহু জৈব পদার্থ জলের মধ্যে উপস্থিত থাকে। এইসব জৈব যৌগগুলিকে জলে দ্রবীভূত অক্সিজেনের উপস্থিতিতে বিভিন্ন ব্যাকটেরিয়া দ্বারা বিয়োজিত হয়ে CO_2, H_2O, নাইট্রেট এবং ফসফেট লবণে পরিণত হয়। দূষক রূপে জলে উপস্থিত এইসব জৈব পদার্থের বিয়োজনের জন্য অক্সিজেনের প্রয়োজন। সেইজন্য দূষিত জলের অক্সিজেন চাহিদা থাকবে। দূষিত জলে যত বেশি পচনযোগ্য জৈব পদার্থ উপস্থিত থাকবে তার অক্সিজেন চাহিদার মাত্রাও তত বেশি হবে। জৈব পদার্থের বিয়োজনের জন্য প্রয়োজনীয় অক্সিজেনকে **জৈব রাসায়নিক অক্সিজেন চাহিদা** (Biochemical oxygen demand বা B.O.D.) বলে।

দূষিত জলে প্রতি লিটারে উপস্থিত জৈব পদার্থের জৈব বিয়োজনের জন্য যত মিলিগ্রাম অক্সিজেনের প্রয়োজন হয় তত পি.পি.এম. (p.p.m.) দ্বারা B.O.D. প্রকাশ করা হয়। যেমন, কোনো জলের B.O.D. 100 ppm বলতে বোঝায় যে ওই জলের প্রতি লিটারে উপস্থিত জৈব যৌগের জৈববিয়োজনের জন্য 100 মিগ্রা অক্সিজেন প্রয়োজন। B.O.D.-এর মান জৈব যৌগের পরিমাণ, জলে উপস্থিত ব্যাকটেরিয়া বা জীবাণুর প্রকৃতি এবং দূষিত জলের উৎসের উপর নির্ভর করে। যেমন—গৃহস্থালির বর্জ্য জলের গড় B.O.D. 100—150 ppm, আবার শিল্পাঞ্চলের বর্জ্য জলে B.O.D.-এর পরিমাণ কয়েক হাজার ppm হতে পারে।

কিছু জৈব যৌগ (পচন অযোগ্য) জলে উপস্থিত থাকে যাদের বিয়োজন ব্যাকটেরিয়া বা জীবাণু দ্বারা হয় না। পচনযোগ্য এবং পচন-অযোগ্য সমস্ত জৈব পদার্থকে শক্তিশালী জারক পদার্থের সাহায্যে পরীক্ষাগারে জারিত করে CO_2 এবং H_2O-তে পরিণত করা যায়। জারক পদার্থগুলি এখানে অক্সিজেন সরবরাহ করে। পচন-যোগ্য এবং পচন-অযোগ্য জৈব যৌগের জারণের জন্য প্রয়োজনীয় মোট অক্সিজেন চাহিদাকে **রাসায়নিক অক্সিজেন চাহিদা** (Chemical oxygen demand—C.O.D.) বলে। C.O.D.'র মান B.O.D'র চেয়ে বেশি হয়।

কোনো জলের B.O.D.'র মান যত বেশি সেই জল তত দূষিত। অর্থাৎ বেশি পরিমাণে জৈব দূষক থাকায় ব্যাকটেরিয়া দ্বারা বিয়োজনের জন্য বেশি পরিমাণ অক্সিজেন প্রয়োজন হয়। এইজন্য জলে দ্রবীভূত অক্সিজেনের পরিমাণ কমে যায়, ফলে জলজ প্রাণী ও উদ্ভিদের জন্য প্রয়োজনীয় অক্সিজেনের ঘাটতি হয়।

(2) কৃষিবর্জ্য ঃ কীটনাশক (Pesticides) ঃ জনসংখ্যা বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে আরো বেশি শস্য উৎপাদন ও সংরক্ষণের জন্য বিভিন্ন প্রকার জৈব ও অজৈব রাসায়নিক পদার্থ কীটপতঙ্গ মারতে (কীটনাশক), আগাছা ধ্বংস করতে (গুল্মনাশক) এবং ছত্রাক মারতে (ছত্রাকনাশক) ব্যাপকহারে ব্যবহৃত হচ্ছে। এদের একত্রে কীটনাশক (Pesticides) বলা হয়। কৃষিক্ষেত্রে ও শস্যে ব্যবহৃত কীটনাশকগুলি কৃষিক্ষেত্র থেকে বর্জিত জল দ্বারা বাহিত হয়ে বিভিন্ন জলাশয়ে মেশে। গ্যাসীয় কীটনাশকসমূহ স্প্রে করার সময় বাতাসের সঙ্গে মিশে যায় এবং সেগুলি বৃষ্টির জলের সঙ্গে ভূপতিত হয় এবং বিভিন্ন জলাশয়ে মেশে। রাসায়নিক প্রকৃতি অনুযায়ী কয়েক রকম কীটনাশক ও তাদের প্রভাব আলোচনা করা হলো।

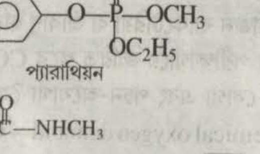
(a) জৈব ও অজৈব অ্যার্সেনেট কীটনাশক (Organic and inorganic arsenate insecticides) ঃ **কপার অ্যার্সেনেট, লেড অ্যার্সেনেট, সোডিয়াম অ্যার্সেনেট** প্রভৃতি অজৈব যৌগ এবং **মনোসোডিয়াম মিথাইল আর্সেনেট** ($NaCH_3HAsO_3$), **ডাইসোডিয়াম মিথাইল অ্যার্সেনেট** ($Na_2CH_3AsO_3$) এবং **কেকোডাইলিক অ্যাসিড** [$(CH_3)_2AsO(OH)$] প্রভৃতি কীটনাশক হিসাবে এবং **ক্যালশিয়াম অ্যার্সেনেট** গুল্মনাশক হিসাবে ব্যবহার হয়। এইগুলি মাটিতে মিশে যায় এবং উদ্ভিদ ও খাদ্যশস্যে প্রবেশ করে। এই রাসায়নিকগুলি পাকস্থলী ও হজমের বিঘ্ন সৃষ্টি করে এবং অন্যান্য আর্সেনিকঘটিত রোগ—চর্মরোগ, পেশি শিথিলতা, ত্বকের ক্যানসার সৃষ্টি করে।

(b) ক্লোরিনঘটিত জৈব কীটনাশক (Organo-chlorine insecticides) ঃ ক্লোরিনযুক্ত জৈব কীটনাশক, যেমন—**ডি.ডি.টি.** (D.D.T.), **গ্যামাক্সিন, অলড্রিন** (aldrin), **এনড্রিন** (endrin), **ক্লোরডেন** (chlordane), **হেপ্টাক্লোর** (heptachlor) প্রভৃতি সহজে জৈব রাসায়নিক প্রক্রিয়ায় বিয়োজিত হয় না। ফলে এদের বিষক্রিয়াও নষ্ট হয় না এবং দীর্ঘদিন স্থায়ী থাকে। সেজন্য এইসমস্ত ক্লোরিনযুক্ত কীটনাশক অত্যন্ত ক্ষতিকর। এই জৈব যৌগগুলি চর্বিতে দ্রাব্য, জলে অদ্রাব্য তাই এগুলি দেহের অ্যাডিপোজ কলা, ফসফোলিপিড এবং কোশের ঝিল্লিত্বকে (cell membrane)-এ জমা হয়। এইসব যৌগ মানুষের দেহে যকৃৎ, কিডনি ও হৃদরোগের সৃষ্টি করে, ক্যানসার সৃষ্টি করে, জননক্ষমতা নষ্ট করে।

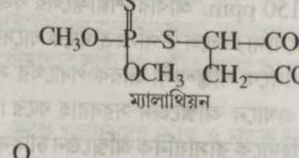
(c) ফসফরাসঘটিত জৈব কীটনাশক (Organo-phosphorus insecticides) ঃ এগুলি হল ফসফরিক অ্যাসিড এবং থায়োফসফরিক অ্যাসিডের এস্টার জাত জৈব যৌগ। এই যৌগগুলি হল ঃ **প্যারাথিয়ন** (Parathion), **ম্যালাথিয়ন** (Malathion), **ডাইক্লোরোভস** (Dichlorvoes), **ডায়াজিনোন** (Diazinon), **ক্লোরোথিয়ন** (Chlorothion), **ফসফামিডন** (Phosphamidon), ইত্যাদি। এই যৌগগুলি মারাত্মক বিষাক্ত—এরা স্নায়ুতন্ত্রের ক্ষতি করে। তবে ফসফরাসঘটিত জৈব কীটনাশকগুলি ক্লোরিনঘটিত জৈব কীটনাশকগুলির চেয়ে কম ক্ষতিকর, কারণ ফসফরাসঘটিত জৈব কীটনাশকগুলি অপেক্ষাকৃত অনেক তাড়াতাড়ি জৈব রাসায়নিক প্রক্রিয়ায় বিয়োজিত হয়।

(d) কার্বামেটঘটিত কীটনাশক (Carbamate insecticides) ঃ এগুলি মূলত কার্বামিক অ্যাসিড (NH_2COOH) জাত এবং এদের সাধারণ সংকেত $CH_3NHCOOAr$। কয়েকটি কার্বমেটঘটিত কীটনাশক হল ঃ **সেভিন** (sevin), **বেগন** (baygon), **জিনেব** (zineb), **অ্যালডিকার্ব** (aldicarb) ইত্যাদি। স্তন্যপায়ীদের উপর এদের বিষক্রিয়া অপেক্ষাকৃত কম।

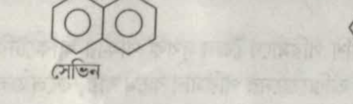
● কয়েকটি কীটনাশকের রাসায়নিক গঠন ঃ



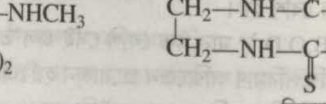
D.D.T.



মিথোক্সিক্লোর



প্যারাথিয়ন



ম্যালাথিয়ন

সেভিন

বেগন

জিনেব

(3) রোগসৃষ্টিকারী দূষক (Pathogens) : জলে বাহিত বিভিন্ন জীবাণু বিভিন্ন রোগের সৃষ্টি করে। এই জল মাছের পক্ষে ক্ষতিকর। এই সমস্ত জল বাহিত জীবাণু সাধারণত জল শোধনের সময় দূর হয়। জল বাহিত এইসমস্ত জীবাণুঘটিত রোগ সমূহ হল : **টাইফয়েড, প্যারাটাইফয়েড, কলেরা, আমাশয় প্রভৃতি।**

(4) অজৈব দূষক এবং বিষাক্ত ভারী ধাতু : অজৈব লবণ যেমন—বিভিন্ন ধাতুর (Cu, Cd, Hg, Zn, Mg, Pb, Co, Ni, As, Sb ইত্যাদি) কার্বনেট, বাইকার্বনেট, নাইট্রেট, ফসফেট, হ্যালাইড প্রভৃতি লবণ অতিরিক্ত মাত্রায় থাকলে দূষণ সৃষ্টি হয়। বিভিন্ন অজৈব অ্যাসিড যেমন : HCl, H_2SO_4, HNO_3, H_3PO_4 বিভিন্ন কলকারখানা থেকে বর্জ্য পদার্থ হিসাবে জলে মিশে জলের অম্লত্ব বাড়িয়ে দেয় (অম্লদূষণ)। বিভিন্ন অজৈব ক্ষার যেমন : কস্টিক সোডা (NaOH), কস্টিক পটাশ (KOH), চুন (CaO), অ্যামোনিয়া, সোডা অ্যাশ (Na_2CO_3) প্রভৃতি উৎপাদন শিল্প থেকে বর্জ্য হিসাবে জলবাহিত হয়ে প্রচুর ক্ষার জলে মিশে জলের ক্ষারত্ব বা pH বৃদ্ধি করে।

আম্লিক ও ক্ষারীয় জল জলজ প্রাণী (মাছ, মাছের ডিম ও পোনা), জীবাণু ও অন্যান্য জীবের পক্ষে ক্ষতিকর। জলের অম্লত্ব ও ক্ষারত্ব বেশি হলে কৃষিজমির উর্বরতা নষ্ট হয় এবং ফলনের ক্ষতি হয়। Ca, Mg-এর কার্বনেট, বাইকার্বনেট এবং সালফেট লবণ সমূহ জলের খরতা বৃদ্ধি করে। তাই এই জল শিল্পে এবং বয়লারে ব্যবহারযোগ্য নয়।

বিভিন্ন গৃহস্থালী ও শিল্প বর্জ্য থেকে কিছু বিষাক্ত ধাতু জলের সাথে মেশে। জলজ উদ্ভিদ ও প্রাণীর উপর এদের ক্ষতিকর প্রভাব আছে। এই ধাতুগুলির মধ্যে উল্লেখযোগ্য কয়েকটি হল : Pb, Hg, Cd, As, Mn ইত্যাদি।

লেড (Pb)—এর প্রধান উৎস হল পেট্রল ও গ্যাসোলিনে ব্যবহৃত অ্যান্টিনকিং যৌগ টেট্রাইথাইল লেড [TEL, $Pb(C_2H_5)_4$]। এছাড়া বিভিন্ন কলকারখানা থেকে লেড জলের সাথে বর্জ্য হিসাবে মিশে যাচ্ছে। লেড দূষিত জল বিপাকীয় ক্রিয়ার (metabolic activity) মারাত্মক ক্ষতি করে।

ক্যাডমিয়াম (Cd) : জীবের পক্ষে ক্ষতিকারক। তড়িৎলেপন শিল্প, কীটনাশক প্রস্তুতকারক কারখানা, লেড, কপার ও জিঙ্ক ধাতুর শোধন, লৌহ ও ইস্পাত শিল্প কারখানা হল ক্যাডমিয়ামের প্রধান উৎস। ক্যাডমিয়াম দূষিত জল যকৃৎ, কিডনির ক্ষতি করে এবং অস্থি-মজ্জার গঠন ব্যাহত হয়। ক্যাডমিয়াম অত্যন্ত বিষাক্ত, ক্যানসার সৃষ্টিকারক।

ম্যাঙ্গানিজ (Mn) : শিল্প কারখানার বর্জ্য এবং শুষ্ক ব্যাটারি থেকে জলে মেশে। দীর্ঘদিন Mn যুক্ত জল ব্যবহারের ফলে স্নায়ুরোগ দেখা যায়।

মারকারি (Hg) : কয়লা ব্যবহৃত তাপবিদ্যুৎ উৎপাদন কেন্দ্র মারকারি ধাতুর প্রধান উৎস। এছাড়া বিভিন্ন শিল্পকারখানা যেমন—কাগজশিল্প, কস্টিক সোডা কারখানা, ক্লোরিন তৈরি কারখানা এবং কীটনাশক তৈরি কারখানা থেকেও দূষিত মারকারি জলের সাথে বর্জ্য হিসাবে মিশে। মারকারি মানবদেহে মারাত্মক ক্ষতিকারক। এর প্রভাবে চোখের দৃষ্টি কমে যায়, কিডনি ক্ষতিগ্রস্থ হয়, স্নায়ুতন্ত্রে বিঘ্ন ঘটায়, পুরুষদের প্রজনন ক্ষমতা হ্রাস করে, বিকলাঙ্গ শিশুর জন্ম হয়।

মিনামাটা রোগ (Minamata disease) : 1953 খ্রিস্টাব্দে জাপানের উপসাগরের তীরবর্তী মিনামাটা শহরে মৎসজীবী পরিবারের মানুষদের মধ্যে অসুস্থতা লক্ষ করা যায়। 1956 খ্রিস্টাব্দে এই অসুখ মিনামাটা অঞ্চলের মাছ থেকে হয়েছে তা জানা যায়, কিন্তু তখন অসুখের মূল কারণ জানা যায় নি। এই কয়েক বছরের মধ্যেই 43 জন মানুষের মৃত্যু হয় এবং 700 জনেরও বেশি মানুষ বিকলাঙ্গ হয়ে যায়। 1959 খ্রিস্টাব্দে নির্দিষ্টভাবে জানা যায় যে মারকারি এই অসুখের জন্য দায়ী। এর পরে জানা যায়, মিনামাটা অঞ্চলে অবস্থিত ভিনাইল ক্লোরাইড এবং অ্যাসিট্যালডিহাইড তৈরির কারখানা থেকেই মিথাইল মারকারি বর্জ্য হিসাবে সমুদ্র উপকূলের জলের সাথে মিশছে। ওইসব কারখানায় অ্যাসিট্যালডিহাইড তৈরির জন্য অনুঘটক হিসাবে মারকিউরিক সালফেট ব্যবহার করা হতো। এই পারদ দূষণের ফলে মিনামাটাতে মহামারী আকার নেয়। এজন্য এই রোগ 'মিনামাটা রোগ' নামে পরিচিত।

● **আর্সেনিক দূষণ :**

বিশ্ব স্বাস্থ্য সংস্থা (WHO)-র নির্দেশিকা অনুযায়ী প্রতিলিটার জলে 0·01 মিগ্রা আর্সেনিক (নিরাপদ সীমা) ক্ষতিকারক নয়। মানবদেহে সর্বোচ্চ সহনসীমা হল প্রতি লিটার জলে 0·5 mg আর্সেনিক। বাংলাদেশের বিস্তীর্ণ অঞ্চল, পশ্চিমবঙ্গের উত্তর ও দক্ষিণ চব্বিশ পরগনা, নদীয়া, মুর্শিদাবাদ, মালদা এবং কলকাতা সংলগ্ন কিছু অঞ্চলসহ পশ্চিম ত্রিপুরার বেশ কিছু অঞ্চলের ভৌম জলে আর্সেনিক পাওয়া যায়। এইসব জায়গার কিছু অঞ্চলে নিরাপদ সীমার 20 গুণ, আবার কোথাও কোথাও নিরাপদ সীমার 350 গুণ আর্সেনিক পাওয়া যায়।

ভূপৃষ্ঠে খনিজ হিসাবে প্রচুর আর্সেনিক পাওয়া যায়। আর্সেনিক, আর্সেনোপাইরাইট (FeAsS) হিসাবে ভূপৃষ্ঠে থাকে। তবে একমাত্র আর্সেনোপাইরাইটই ভৌমজলে (ground water) আর্সেনিক দূষণের কারণ নয়। মিষ্টি জলে (fresh water) আর্সেনিক মাত্রা নিরাপদ সীমার $\frac{1}{10}$ অংশ থাকে। ভৌমজলে আর্সেনিক দূষণের অন্যতম কারণ হল প্রাকৃতিক প্রক্রিয়ায় আর্সেনিকের অ্যালকাইলেশন বা মিথাইলেশন। মিথাইল আর্সেনাইট (methylated arsenic) সহজেই উদ্ভিদ গ্রহণ করে এবং তা খাদ্যশৃঙ্খলের মাধ্যমে উচ্চতর জীবজগতে বাহিত হয়। মিথাইল আর্সেনাইট দূষণযুক্ত জল নলকূপ ও কূপ থেকে উত্তোলনের ফলে ভূ-পৃষ্ঠের উপরিভাগের মৃত্তিকা এবং জলে আর্সেনিক দূষণ হচ্ছে।

আর্সেনিক পরিবেশে অক্সাইড হিসাবেও থাকে এবং As_2O_5 হলো গ্যাস। As_2O_5 জলের সাথে মিশে আর্সেনিক অ্যাসিড (Arsenic acid—H_3AsO_4) এবং **আর্সেনিয়াস অ্যাসিড** (H_3AsO_3) তৈরি করে। ভূ-গর্ভস্থ জলে উপস্থিত Fe^{3+} আয়নের সাথে এই সমস্ত অ্যাসিড বিক্রিয়ায় ফেরিক অ্যার্সেনেট ($FeAsO_4$) এবং ফেরিক আর্সেনাইট ($FeAsO_3$) তৈরি হয়। এইগুলি পশ্চিমবঙ্গের আর্সেনিক দূষিত অঞ্চলের ভূগর্ভস্থ জলে বর্তমান থাকে। ফেরিক আর্সেনেট এবং ফেরিক আর্সেনাইট আম্লিক জলে বিয়োজিত হয়ে বিষাক্ত আর্সেনিক অ্যাসিড, আর্সেনিয়াস অ্যাসিড এবং ফেরিক হাইড্রক্সাইডে পরিণত হয়। এই রাসায়নিক আর্দ্রবিশ্লেষণই পশ্চিমবঙ্গের বিভিন্ন অঞ্চলের ভূ-গর্ভস্থ জলে আর্সেনিক দূষণের কারণ।

আর্সেনিক দূষণের প্রভাব ঃ শরীর দুর্বল হয়ে পড়ে, ক্ষুধামন্দ্য, বমিভাব, পেটের অসুখ দেখা দেয়। সর্দি, কাশি, শ্বাসকষ্ট, বিভিন্ন রকম চর্মরোগ—চামড়া ফোলা ও প্রদাহ, চামড়ায় খসখসে ভাব দেখা যায়। কিডনি, লিভার, প্লীহা, ফুসফুস ক্ষতিগ্রস্ত হয়। দীর্ঘদিন আর্সেনিক দূষিত জলের প্রভাবে ত্বক, ফুসফুস এবং মূত্রনালীতে ক্যানসার হয়।

8.22. মাটির রাসায়নিক প্রকৃতি [Chemical composition of soil]

শিলার ক্ষয়ীভবন ও জলবায়ুর প্রভাবে শিলার পরিবর্তন ও বিয়োজনের ফলে উৎপন্ন সংযোজিত **খনিজ কণাগুলির** ফাঁকে জৈব পদার্থ প্রবেশ করে মৃত্তিকার সৃষ্টি হয়। মৃত্তিকার প্রধান উপাদানগুলি হল—

(i) জৈব পদার্থ ঃ মাটিতে জৈব পদার্থ আসে ছত্রাক, বড়ো গাছ ও তাদের ডালপালা, পাতা এবং শেকড় শুকিয়ে মাটিতে মিশে। প্রাণী ও তাদের বর্জ্য পদার্থ মাটিতে মিশে যায়। উদ্ভিদ ও প্রাণীর অবশেষ জীবাণু দ্বারা বিয়োজিত হয়ে হিউমাস উৎপন্ন করে। এই হিউমাস মাটির অত্যন্ত প্রয়োজনীয় অংশ। হিউমাস মাটির জলধারণ ক্ষমতা বৃদ্ধি করে, মাটির কণাগুলিকে একসঙ্গে ধরে রাখে।

(ii) বায়ু ঃ মাটির কণাগুলির ফাঁকে বায়ু প্রবেশ করে থাকে। মাটিতে অবস্থিত বায়ুতে O_2 ও CO_2-এর শতকরা পরিমাণ বায়ুমণ্ডলে উপস্থিত O_2 ও CO_2-এর পরিমাণের চেয়ে অনেক কম।

(iii) খনিজ পদার্থ ঃ মূল পাথরের বিভাজনের ফলে বিভিন্ন আকার ও আকৃতির খনিজ পদার্থের কণিকা উৎপন্ন হয়। মাটি কণিকাগুলি প্রধানত সিলিকেট খনিজ। মাটির প্রধান উপাদান মৌলসমূহ হলো অক্সিজেন, সিলিকন, অ্যালুমিনিয়াম, আয়রন, ক্যালশিয়াম, সোডিয়াম, পটাশিয়াম, ম্যাগনেশিয়াম।

(iv) জল ঃ মাটিতে উপস্থিত জল শুধুমাত্র খনিজ ও জৈব পদার্থের দ্রাবক হিসেবেই কাজ করে না, জল মাটির গঠন বিন্যাস রক্ষা করে। মাটির জলে অজৈব ও জৈব কঠিন, তরল ও গ্যাসীয় পদার্থ দ্রবীভূত থাকে। মাটির জল মাটিকে উদ্ভিদ ও প্রাণীর উপযুক্ত বাসস্থলে পরিণত করেছে। মাটির জল গাছের মূল দ্বারা শোষিত হয়ে গাছের বিভিন্ন অংশে বাহিত হয়। অতিরিক্ত জল গাছের পাতা থেকে বাষ্পাকারে বায়ুমণ্ডলে নির্গত হয়। এইভাবে গাছ মাটির জল বায়ুমণ্ডলে স্থানান্তরিত করে।

8.23. মাটির দূষণের উৎস [Modes of soil pollution]

(i) শিল্প-কারখানার বর্জ্য দ্বারা মাটির দূষণ ঃ শিল্প কারখানার কঠিন বর্জ্যের চেয়ে তরল ও কর্দমাক্ত বর্জ্য পদার্থ অনেক বেশি ক্ষতিকারক। বয়লারের কাদা, কয়লা ব্যবহৃত তাপবিদ্যুৎ কেন্দ্রের SO_2, SO_3 গ্যাস শোষণ করায় ব্যবহৃত কলিচুন বা ক্যালশিয়াম কার্বনেট কাদা যাতে বহু দূষক পদার্থ ক্যালশিয়াম লবণ হিসাবে থাকে। যেমন—আর্সেনিক (As), সেলেনিয়াম (Se), মারকারি (Hg), লেড (Pd), ক্যাডমিয়াম (Cd) প্রভৃতি। এই অজৈব পদার্থগুলি পরিবেশের পক্ষে অত্যন্ত ক্ষতিকারক।

(ii) শহরের বর্জ্য দ্বারা মাটি দূষণ ঃ শহরাঞ্চলে বাণিজ্যিক এবং গৃহস্থালী দু-ধরনের বর্জ্য পদার্থ নিক্ষিপ্ত হয়। এই বর্জ্যগুলি হল ডাস্টবিনে সঞ্চিত জঞ্জাল, প্লাস্টিক সামগ্রী, ধাতব পাত্র, ভাঙ্গা কাচ, ছাই ও অন্যান্য অব্যবহার্য জিনিসপত্র।

(iii) কৃষিকার্যের বর্জ্য দ্বারা মাটি দূষণ।

(iv) জৈবিক বর্জ্য পদার্থ ঃ মানুষ পশু, পাখি প্রভৃতির বর্জ্য মাটিতে মেশে। এ ছাড়াও অস্বাস্থ্যকর ময়লা নিষ্কাশন ব্যবস্থা,

পৌর জঞ্জাল, ড্রেনের জমা কাদা ও তরল বর্জ্য ব্যাপকভাবে মাটিকে দূষিত করে। এই সব বর্জ্য থেকে বিভিন্ন প্রকার রোগ-জীবাণু, ভাইরাস পরিবেশে সংক্রামিত হয়।

8.24. কৃষিকার্যে কীটনাশক ও সার প্রয়োগে দূষণ [Pollution of pesticide & fertiliser in agriculture]

নানারকম কীটনাশক ঃ অধিক শস্য উৎপাদনের লক্ষ্যে বর্তমানে নানারকম কীটনাশক ফসলে প্রয়োগ করা হচ্ছে। এই কীটনাশকগুলির মধ্যে ক্লোরিনযুক্ত হাইড্রোকার্বন যেমন ঃ **D.D.T., বেনজিন হেক্সাক্লোরাইড** (BHC), **লিনডেন** (lindane), **জৈব ফসফরাস যৌগ ম্যালাথায়ন, প্যারাথায়ন** (parathion) প্রভৃতি। মাটির কণায় এইসব কীটনাশক পদার্থ শোষিত হয় এবং ওই মাটিতে উৎপন্ন শস্যের মূল দ্বারা শোষিত হয়ে মিশে যায়। এই কীটনাশকগুলির অবশেষ মাটির জৈবমণ্ডলের সঙ্গে সহাবস্থান করে, এর ফলে প্রাকৃতিক বাস্তুতান্ত্রিক সমতায় বাধার সৃষ্টি হয়।

সার ঃ বর্তমানে বেশি শস্য উৎপাদনের জন্য প্রচুর পরিমাণে **কৃত্রিম সার** যেমন—**নাইট্রোজেন, ফসফরাস, পটাশিয়াম** (NPK) মাটিতে প্রয়োগ করে। এই সারের বেশ কিছু অংশ জল ধৌত হয়ে নিকটবর্তী জলাশয়, হ্রদ ও নদী-নালায় প্রবেশ করে নাইট্রেট জনিত দূষণ ঘটায়।

● জীবজ অণু ●

8.25. কার্বোহাইড্রেট [Carbohydrates]

উদ্ভিদে উপস্থিত জৈব উপাদানের মধ্যে কার্বোহাইড্রেট প্রচুর পরিমাণে থাকে। সবুজ উদ্ভিদ, সালোকসংশ্লেষ পদ্ধতি দ্বারা কার্বোহাইড্রেট সংশ্লেষ করতে পারে। কার্বোহাইড্রেট সাধারণভাবে শর্করা হিসাবে পরিচিত। বেশির ভাগ কার্বোহাইড্রেটকে সাধারণ সংকেত $C_n(H_2O)_m$ দ্বারা প্রকাশ করা যায়। তাই কার্বোহাইড্রেটগুলিকে কার্বন হাইড্রেট বলে মনে করা হত। বর্তমানে জানা গেছে যে এই ধারণাটি ঠিক নয়, কারণ—**(i)** ফর্ম্যালডিহাইড (HCHO), অ্যাসিটিক অ্যাসিড (CH_3COOH) এইরকম বেশ কিছু যৌগ আছে যাদের আণবিক সংকেত $C_n(H_2O)_m$ দ্বারা প্রকাশ করা যায়, কিন্তু এদের ধর্ম কার্বোহাইড্রেট যৌগের মতো নয়। **(ii)** আবার কিছু কার্বোহাইড্রেট আছে যেমন র‍্যামনজ ($C_6H_{12}O_5$), ডিঅক্সিরাইবোজ ($C_5H_{10}O_4$) যাদের আণবিক সংকেত $C_n(H_2O)_m$ দ্বারা প্রকাশ করা যায় না।

বাস্তবক্ষেত্রে, **কার্বোহাইড্রেট হল বহুসংখ্যক অ্যালকোহলীয় হাইড্রক্সিল গ্রুপযুক্ত অ্যালডিহাইড বা কিটোন** অথবা **যে সব যৌগের আর্দ্র বিশ্লেষণে বহুসংখ্যক হাইড্রক্সিল গ্রুপযুক্ত অ্যালডিহাইড বা কিটোন উৎপন্ন হয় তাদের কার্বোহাইড্রেট বলে।**

শ্রেণিবিভাগ ঃ কার্বোহাইড্রেটকে প্রধানত তিনটি শ্রেণিতে ভাগ করা হয়।

(i) মনোস্যাকারাইড (Monosaccharides) **ঃ মনোস্যাকারাইড কার্বোহাইড্রেটের সরলতম অণু যার আর্দ্র বিশ্লেষণে নতুন এক বা একাধিক সরল কার্বোহাইড্রেট পাওয়া যায় না।** যেমন ঃ **অ্যারাবিনোজ, গ্লুকোজ, ফ্রুকটোজ** প্রভৃতি প্রকৃতিজাত মনোস্যাকারাইড।

(ii) অলিগোস্যাকারাইড (Oligosaccharides) **ঃ যে কার্বোহাইড্রেটের আর্দ্র বিশ্লেষণে 2 থেকে 9 পর্যন্ত মনোস্যাকারাইড অণু উৎপন্ন হয়, তাদের একত্রে অলিগোস্যাকারাইড বলা হয়।** আর্দ্র বিশ্লেষণে উৎপন্ন মনোস্যাকারাইডের সংখ্যা অনুযায়ী এদের আবার শ্রেণিবিভাগ করা যায়। যেমন, যে কার্বোহাইড্রেটের একটি অণু থেকে আর্দ্র বিশ্লেষণের ফলে 2টি মনোস্যাকারাইডের অণু উৎপন্ন হলে তাকে **ডাইস্যাকারাইড** বলে। অনুরূপে যে কার্বোহাইড্রেট থেকে 3টি মনোস্যাকারাইড উৎপন্ন হয় তাকে **ট্রাইস্যাকারাইড** বলে।

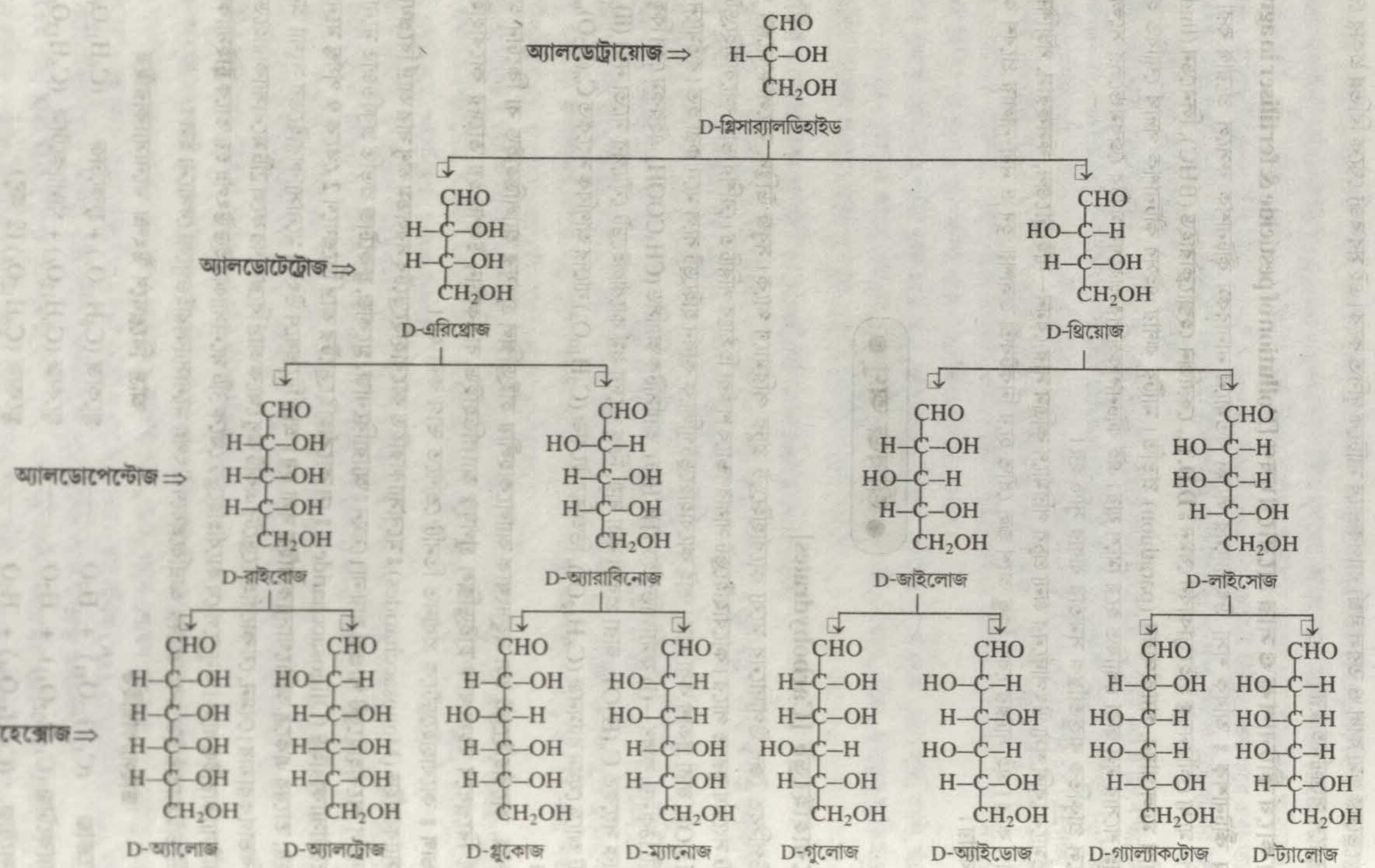
নীচে কয়েকটি ডাইস্যাকারাইড এবং তাদের আর্দ্রবিশ্লেষণে উৎপন্ন মনোস্যাকারাইডগুলো দেখানো হল ঃ

ডাইস্যাকারাইড		আর্দ্র বিশ্লেষণে উৎপন্ন মনোস্যাকারাইড
সুক্রোজ ($C_{12}H_{22}O_{11}$) + H_2O	⟶	গ্লুকোজ ($C_6H_{12}O_6$) + ফ্রুকটোজ ($C_6H_{12}O_6$)
ল্যাকটোজ ($C_{12}H_{22}O_{11}$) + H_2O	⟶	গ্লুকোজ ($C_6H_{12}O_6$) + গ্যালাকটোজ ($C_6H_{12}O_6$)
মলটোজ ($C_{12}H_{22}O_{11}$) + H_2O	⟶	গ্লুকোজ ($C_6H_{12}O_6$) (2 অণু)

(iii) পলিস্যাকরাইড (Polysaccharides) **ঃ যে কার্বোহাইড্রেটের আর্দ্র বিশ্লেষণে বহু সংখ্যক মনোস্যাকারাইড উৎপন্ন হয়, তাকে পলিস্যাকারাইড বলে।** যেমন ঃ **সেলুলোজ, স্টার্চ, গ্লাইকোজেন** প্রভৃতি।

● সারণি 8.1 ●

D-শ্রেণির অ্যালডোজ



মনোস্যাকরাইডগুলিকে কার্বনের সংখ্যা এবং উপস্থিত কার্বনিল গ্রুপ (অ্যালডিহাইড বা কিটোন) অনুযায়ী নামকরণ করা হয়। যে সমস্ত কার্বোহাইড্রেট বহুসংখ্যক অ্যালকোহলীয় হাইড্রক্সিল গ্রুপ যুক্ত অ্যালডিহাইড তাদের **অ্যালডোজ** বলে। আর, যে সমস্ত কার্বোহাইড্রেট বহুসংখ্যক অ্যালকোহলীয় হাইড্রক্সিল গ্রুপ যুক্ত কিটোন তাদের **কিটোজ** বলে। অ্যালডোজ এবং কিটোজ শ্রেণির যৌগের নাম নির্দিষ্ট যৌগে কার্বন সংখ্যার উপর নির্ভর করে।

কার্বন সংখ্যা	অ্যালডোজ	কিটোজ
3	অ্যালডোট্রায়োজ	কিটোট্রায়োজ
4	অ্যালডোটেট্রোজ	কিটোটেট্রোজ
5	অ্যালডোপেন্টোজ	কিটোপেন্টোজ
6	অ্যালডোহেক্সোজ	কিটোহেক্সোজ

সবচেয়ে ক্ষুদ্র অ্যালডোজ হলো গ্লিসার‍্যালডিহাইড। প্রকৃতিজাত সমস্ত মনোস্যাকারাইডের মধ্যে **রাইবোজ** ($C_5H_{10}O$), **গ্লুকোজ** ($C_6H_{12}O_6$) এবং **ফ্রুকটোজ** ($C_6H_{12}O_6$) সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ।

প্রকৃতিজাত কার্বোহাইড্রেটগুলি আলোক সক্রিয় হয় এবং এরা প্রত্যেকে D-শ্রেণির অন্তর্গত। প্রকৃতিজাত D-শ্রেণির অন্তর্গত অ্যালডোজগুলি ক্ষুদ্রতম অ্যালডোজ গ্লিসার‍্যালডিহাইড থেকে সঞ্জাত। 404 পৃষ্ঠায় অ্যালডোজ শ্রেণির যৌগের বিন্যাস দেখানো হয়েছে (সারণি 8.1)।

● **পেন্টোজ ঃ** অ্যালডোপেন্টোজ, $HOCH_2CHOHCHOHCHOHCHO$, মোট 8টি আলোক সক্রিয় সমাবয়বী অবস্থায় থাকতে পারে (4টি D-শ্রেণির এবং 4টি L-শ্রেণির)। এগুলি হল **রাইবোজ, অ্যারাবিনোজ, জাইলোজ** এবং **লাইসোজ**। অ্যালডোপেন্টোজ-এর মধ্যে সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ হল—**D-রাইবোজ**। এটি **রাইবোনিউক্লিক অ্যাসিড (RNA)-এর উপাদান।**

● **হেক্সোজ ঃ** অ্যালডোহেক্সোজ, $HOCH_2CHOHCHOHCHOHCHOHCHO$, মোট 16টি আলোক সক্রিয় সমাবয়বী অবস্থায় থাকতে পারে (8টি D-শ্রেণিভুক্ত এবং অপর 8টি L-শ্রেণিভুক্ত)। এগুলি হল ঃ **অ্যালোজ, অ্যালট্রোজ, গ্লুকোজ, ম্যানোজ, গুলোজ, আইডোজ, গ্যালাকটোজ** এবং **ট্যালোজ**। এদের মধ্যে সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ এবং পৃথিবীতে জৈব যৌগের মধ্যে সবচেয়ে বেশি পরিমাণে পাওয়া যায় **D(+) গ্লুকোজ**। (অ্যালডোহেক্সোজ সমূহের গঠন দেখ সারণি 8.1).

8.26. গ্লুকোজের বৈশিষ্ট্যপূর্ণ বিক্রিয়া [Characteristic reaction of glucose]

(1) জারণ ঃ (i) ব্রোমিন-জল দ্বারা ঃ ব্রোমিন-জল অ্যালডিহাইডকে জারিত করে কার্বোক্সিলিক গ্রুপে পরিণত করে। অ্যালডোজ জারিত হয়ে **অ্যালডোনিক অ্যাসিডে** পরিণত হয়। গ্লুকোজ জারিত হয়ে **গ্লুকোনিক অ্যাসিডে** পরিণত হয়।

$$\underset{\text{গ্লুকোজ}}{HOCH_2(CHOH)_4CHO} \xrightarrow{Br_2/H_2O} \underset{\text{গ্লুকোনিক অ্যাসিড}}{HOCH_2(CHOH)_4COOH}$$

(ii) নাইট্রিক অ্যাসিড দ্বারা ঃ লঘু HNO_3 অ্যাসিড হল তীব্র জারক পদার্থ, তাই লঘু HNO_3 দ্বারা CHO গ্রুপ এবং প্রান্তীয় CH_2OH গ্রুপ উভয়ই কার্বোক্সিলিক গ্রুপে জারিত হয়। গ্লুকোজ জারিত হয়ে **গ্লুকারিক অ্যাসিডে** পরিণত হয়।

$$\underset{\text{গ্লুকোজ}}{HOCH_2(CHOH)_4CHO} \xrightarrow{HNO_3} \underset{\text{গ্লুকারিক অ্যাসিড}}{HOOC(CHOH)_4COOH}$$

(iii) ফেলিং দ্রবণ এবং টলেন্স বিকারক দ্বারা জারণ ঃ গ্লুকোজকে ফেলিং দ্রবণসহ উত্তপ্ত করলে গ্লুকোজ জারিত হয়ে গ্লুকোনিক অ্যাসিডে পরিণত হয় এবং ফেলিং দ্রবণ বিজারিত হয়ে লাল **কিউপ্রাস অক্সাইড অধঃক্ষিপ্ত হয়**। অনুরূপভাবে টলেন্স বিকারকের দ্বারা জারিত হয়ে **গ্লুকোনিক অ্যাসিডে** পরিণত হয় এবং ধাতব সিলভারের অধঃক্ষেপ পড়ে।

$$HOCH_2(CHOH)_4CHO \xrightarrow[(Cu^{2+})]{\text{ফেলিং দ্রবণ}} \underset{\text{গ্লুকোনিক অ্যাসিড}}{HOCH_2(CHOH)_4COOH} + \underset{\text{লাল}}{Cu_2O\downarrow}$$

$$HOCH_2(CHOH)_4CHO \xrightarrow[(Ag^+)]{\text{টলেন্স বিকারক}} HOCH_2(CHOH)_4COOH + Ag\downarrow$$

[যে সমস্ত কার্বোহাইড্রেট ফেলিং দ্রবণ বা টলেন্স বিকারককে বিজারিত করতে পারে তাদের **'বিজারক সুগার'** (reducing sugar) বলে। সমস্ত মনোস্যাকারাইডই বিজারক সুগার।]

(iv) HIO_4 দ্বারা জারণ ঃ HIO_4 দ্বারা গ্লুকোজ জারিত হয়ে 5 অণু ফর্মিক অ্যাসিড এবং 1 অণু ফর্ম্যালডিহাইডে পরিণত হয়।

$$HOCH_2(CHOH)_4CHO \xrightarrow{5\ HIO_4} 5HCOOH + HCHO$$

(2) বিজারণ ঃ গ্লুকোজকে সোডিয়াম পারদ সংকর (Na/Hg) কিংবা সোডিয়াম বোরোহাইড্রাইড ($NaBH_4$) দ্বারা বিজারিত করলে **সরবিটল** বা **গ্লুসিটল** উৎপন্ন হয়। প্রান্তীয় CHO গ্রুপ CH_2OH গ্রুপে বিজারিত হয়।

$$HOCH_2(CHOH)_4CHO \xrightarrow{NaBH_4} \underset{\text{সরবিটল}}{HOCH_2(CH_2OH)_4CH_2OH}$$

গ্লুকোজকে HI এবং লাল ফসফরাস দ্বারা 100°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করলে প্রথমে **2-আয়োডোহেক্সেন** এবং শেষে ***n*-হেক্সেন** উৎপন্ন হয়।

$$HOCH_2(CHOH)_4CHO \xrightarrow[100^\circ C]{HI\ +\ \text{লাল P}} \underset{\text{2-আয়োডোহেক্সেন}}{CH_3{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}\underset{|}{\overset{}{C}}H(I){-}CH_3}$$

$$\xrightarrow{[H]} \underset{n\text{-হেক্সেন}}{CH_3{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_3}$$

(3) HCN-এর সঙ্গে বিক্রিয়া ঃ গ্লুকোজ, HCN-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে **গ্লুকোজ সায়ানোহাইড্রিন** উৎপন্ন করে, যা অ্যাসিড দ্বারা আর্দ্র বিশ্লেষণে ***α*-হাইড্রোক্সি অ্যাসিডে** পরিণত হয়।

$$HOCH_2(CHOH)_4CHO + HCN \longrightarrow \underset{\text{গ্লুকোজ-সায়ানোহাইড্রিন}}{HOCH_2(CHOH)_4CH(OH){-}CN}$$

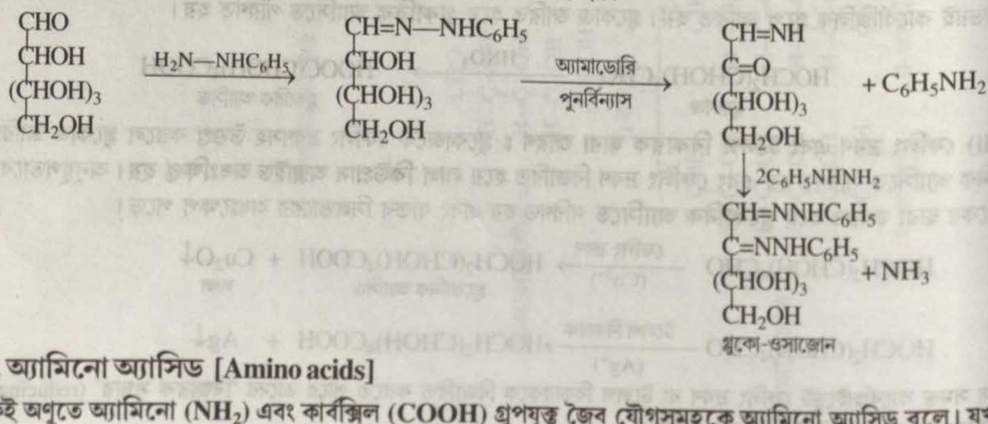
$$\xrightarrow{H_3O^+} HOCH_2(CHOH)_4{-}CH(OH){-}COOH$$

(4) হাইড্রক্সিল অ্যামিনের (NH_2OH) সঙ্গে বিক্রিয়া ঃ গ্লুকোজের CHO গ্রুপ এবং NH_2OH-এর কনডেনসেশন বিক্রিয়ায় **গ্লুকোজ-অক্সিম** উৎপন্ন হয়।

$$HOCH_2(CHOH)_4CHO + H_2NOH \longrightarrow \underset{\text{গ্লুকোজ-অক্সিম}}{HOCH_2(CHOH)_4CH{=}NOH}$$

(5) ফিনাইল হাইড্রাজিনের সঙ্গে বিক্রিয়া (ওসাজোন তৈরি) ঃ

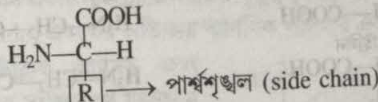
গ্লুকোজ ফিনাইলহাইড্রাজিনের সঙ্গে বিক্রিয়ায় **ফিনাইল হাইড্রাজোন** উৎপন্ন করে। অতিরিক্ত ফিনাইলহাইড্রাজিনের সঙ্গে বিক্রিয়ায় **গ্লুকো ওসাজোন** নামক হলুদ বর্ণের কেলাসাকার পদার্থ উৎপন্ন হয়।



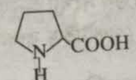
8.27. অ্যামিনো অ্যাসিড [Amino acids]

একই অণুতে অ্যামিনো (NH_2) এবং কার্বক্সিল (COOH) গ্রুপযুক্ত জৈব যৌগসমূহকে অ্যামিনো অ্যাসিড বলে। যখন এই দুটি গ্রুপই (NH_2 এবং COOH) একই কার্বন পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত থাকে সেইসব অ্যামিনো-অ্যাসিডকে *α*-অ্যামিনো-অ্যাসিড

বলা হয়। 22টি α-অ্যামিনো-অ্যাসিড জীবদেহে পাওয়া যায়। অ্যামিনো-অ্যাসিড খুবই গুরুত্বপূর্ণ জৈব অণু কারণ প্রোটিন এবং পেপটাইড তৈরি হয় অ্যামিনো-অ্যাসিড একক দ্বারা। α-অ্যামিনো-অ্যাসিড সমূহকে নীচের সাধারণ সংকেত দ্বারা প্রকাশ করা যায়।



পার্শ্বশৃঙ্খল, R ভিন্ন হয়, ভিন্ন অ্যামিনো অ্যাসিডের ক্ষেত্রে। গ্লাইসিন ছাড়া সমস্ত α-অ্যামিনো-অ্যাসিড আলোক সক্রিয় এবং প্রত্যেকে দুটি আলোক সক্রিয় সমাবয়বী অবস্থায় থাকতে পারে। বাস্তবক্ষেত্রে, প্রকৃতজাত অ্যামিনো-অ্যাসিড সমূহ L-শ্রেণিভুক্ত। নীচে প্রকৃতজাত কয়েকটি α-অ্যামিনো-অ্যাসিডের নাম ও আণবিক গঠন দেওয়া হল।

নাম	আণবিক গঠন	নাম	আণবিক গঠন
গ্লাইসিন	H_2N-CH_2-COOH	সেরিন	$H_2N-CH(CH_2OH)-COOH$
অ্যালানিন	$H_2N-CH(CH_3)-COOH$	থ্রিওনিন	$H_2N-CH(CHOH-CH_3)-COOH$
ভ্যালিন	$H_2N-CH(CH(CH_3)_2)-COOH$	টাইরোসিন	$H_2N-CH(CH_2-C_6H_4-OH)-COOH$
লিউসিন	$H_2N-CH(CH_2-CH(CH_3)_2)-COOH$	প্রোলিন	
আইসোলিউসিন	$H_2N-CH(CH(CH_3)-CH_2CH_3)-COOH$	সিসটিন	$H_2N-CH(CH_2SH)-COOH$
ফিনাইল অ্যালানিন	$H_2N-CH(CH_2C_6H_5)-COOH$	অ্যাসপার্টিক অ্যাসিড	$H_2N-CH(CH_2COOH)-COOH$
		লাইসিন	$H_2N-CH((CH_2)_4-NH_2)-COOH$

অপরিহার্য অ্যামিনো-অ্যাসিড (Essential Amino Acids) ঃ উন্নততর কয়েকটি জীব কতকগুলি অ্যামিনো-অ্যাসিড দেহে তৈরি করতে পারে না, কিন্তু এই অ্যামিনো-অ্যাসিডগুলি প্রোটিন তৈরির ক্ষেত্রে অপরিহার্য। সেজন্য এই অ্যামিনো-অ্যাসিডগুলিকে খাদ্যের মাধ্যমে গ্রহণ করে ওইগুলির চাহিদাপূরণ করতে হয়, অন্যথা এদের অভাবে জীবদেহে স্বাভাবিক বৃদ্ধি ব্যাহত হয় এমনকি মৃত্যুও হতে পারে। এরকম কয়েকটি অপরিহার্য অ্যামিনো-অ্যাসিড হলো ঃ **ভ্যালিন, লিউসিন, আইসোলিউসিন, ফিনাইল অ্যালানিন, থ্রিওনিন, লাইসিন** ইত্যাদি।

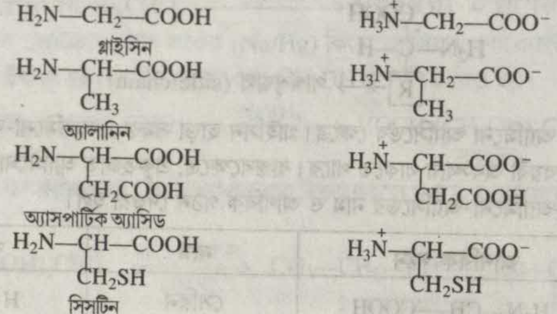
● **জুইটার আয়ন গঠন** (Zwitter ion structure) ঃ অ্যামিনো অ্যাসিডে একইসাথে **ক্ষারীয় NH_2 গ্রুপ** এবং **আম্লিক COOH গ্রুপ** উপস্থিত থাকা সত্ত্বেও এদের প্রকৃতি অ্যালিফেটিক অ্যামিনো যৌগ বা কার্বোক্সিলিক অ্যাসিড যৌগ থেকে সম্পূর্ণ আলাদা। α-অ্যামিনো অ্যাসিডের কার্বোক্সিলিক গ্রুপ থেকে প্রোটন (H^+) মুক্ত হয়ে NH_2 গ্রুপের নাইট্রোজেন পরমাণুর নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন-জোড়ের সঙ্গে যুক্ত হয়। এর ফলে কার্বোক্সিলিক গ্রুপ এবং অ্যামিনো গ্রুপ যথাক্রমে COO^- এবং $\overset{+}{N}H_3$ আয়নে পরিণত হয়। অতএব **অ্যামিনো অ্যাসিডের একই অণুতে দ্বি-মেরু আয়ন বর্তমান থাকে।** একই অণুতে এইরকম দ্বি-মেরু আয়নকে **'জুইটার আয়ন'** (Zwitterion) বলে। অ্যামিনো অ্যাসিডের 'জুইটার আয়ন' গঠন নীচের সাধারণ সংকেত দ্বারা প্রকাশ করা যায়।

$$H_2\ddot{N}-\underset{R}{CH}-COOH \longrightarrow H_3\overset{+}{N}-\underset{R}{CH}-COO^- \quad ; \quad R = \text{পার্শ্বশৃঙ্খল}$$

জুইটার আয়ন (দ্বি-মেরু আয়ন)

কয়েকটি অ্যামিনো-অ্যাসিডের 'জুইটার আয়ন' গঠন নীচে দেওয়া হল ঃ

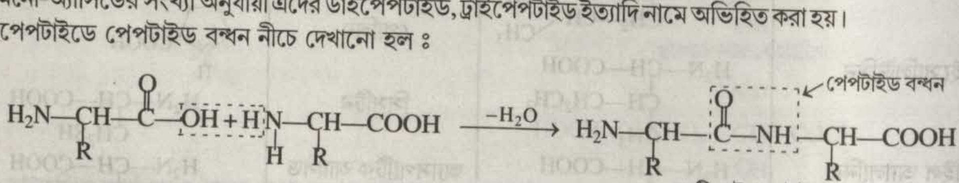
অ্যামিনো-অ্যাসিডের সাধারণ গঠন **'জুইটার আয়ন' গঠন**



8.28. পেপটাইড বন্ধন [Peptide linkage/bond]

পেপটাইড এবং প্রোটিন হল α-অ্যামিনো-অ্যাসিডের পলিমার। পেপটাইড এবং প্রোটিনে অ্যামিনো-অ্যাসিডগুলি জলের অণু বর্জন করার মাধ্যমে পরস্পরের সঙ্গে পেপটাইড বা অ্যামাইড বন্ধন (peptide/amide linkage) দ্বারা যুক্ত থাকে। একটি অ্যামিনো-অ্যাসিডের কার্বোক্সিলিক গ্রুপের সঙ্গে অন্য একটি অ্যামিনো-অ্যাসিডের অ্যামিনো গ্রুপ যুক্ত হয়ে অ্যামাইড বন্ধন ($-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-NH-$) তৈরি করে। প্রোটিন বা পেপটাইডে এই অ্যামাইড বন্ধনকে **'পেপটাইড বন্ধন'** (peptide linkage) বলে। একটি অণুতে এইরকম পেপটাইড বন্ধনে যুক্ত অ্যামিনো-অ্যাসিডের সংখ্যা অনুযায়ী এদের ডাইপেপটাইড, ট্রাইপেপটাইড ইত্যাদি নামে অভিহিত করা হয়।

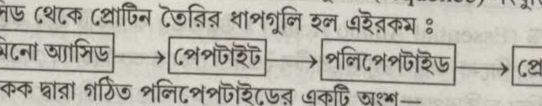
ডাইপেপটাইডে পেপটাইড বন্ধন নীচে দেখানো হল ঃ



এইভাবে **বহুসংখ্যক অ্যামিনো অ্যাসিড পেপটাইড বন্ধনের মাধ্যমে পরস্পরের সঙ্গে যুক্ত হয়ে উচ্চ আণবিক গুরুত্বের প্রোটিন অণুর সৃষ্টি করে।** প্রতিটি প্রোটিন অণুতে কোন্ অ্যামিনো অ্যাসিড অপর কোন্ অ্যামিনো-অ্যাসিডের সাথে যুক্ত হবে তা নির্দিষ্ট থাকে। অ্যামিনো-অ্যাসিডগুলির একটি নির্দিষ্ট বিন্যাসের ক্রম অনুযায়ী (sequence) সংযুক্তির ফলেই নির্দিষ্ট ধর্মযুক্ত প্রোটিন অণুর সৃষ্টি হয়। অ্যামিনো-অ্যাসিড থেকে প্রোটিন তৈরির ধাপগুলি হল এইরকম ঃ

অ্যামিনো অ্যাসিড ⟶ পেপটাইট ⟶ পলিপেপটাইড ⟶ প্রোটিন

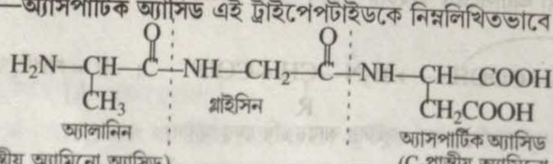
বিভিন্ন অ্যামিনো অ্যাসিড একক দ্বারা গঠিত পলিপেপটাইডের একটি অংশ—



একটি পলিপেপটাইড

পেপটাইড বা প্রোটিনে মাত্র একটি প্রান্তীয় অ্যামিনো গ্রুপ এবং একটি প্রান্তীয় কার্বোক্সিলিক গ্রুপ মুক্ত অবস্থায় থাকে, অন্য সমস্ত অ্যামিনো গ্রুপ এবং কার্বোক্সিলিক গ্রুপ পেপটাইড (অ্যামাইড) বন্ধনে যুক্ত থাকে। একটি পেপটাইডে প্রান্তীয় মুক্ত অ্যামিনো গ্রুপ যুক্ত অ্যামিনো অ্যাসিডকে N—প্রান্তীয় (N—terminal) অ্যামিনো অ্যাসিড এবং প্রান্তীয় মুক্ত কার্বোক্সিলিক গ্রুপযুক্ত অ্যামিনো অ্যাসিডকে C—প্রান্তীয় (C—terminal) অ্যামিনো অ্যাসিড বলে। **পেপটাইড বা প্রোটিনের বিন্যাস (sequence) লেখার সময় বামদিকে N-প্রান্তীয় অ্যামিনো অ্যাসিড এবং ডানদিকে C-প্রান্তীয় অ্যামিনো অ্যাসিডকে লেখা হয়।** উদাহরণ—

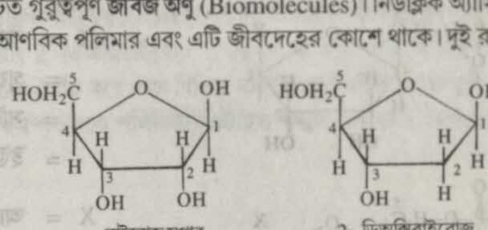
অ্যালানিন—গ্লাইসিন—অ্যাসপার্টিক অ্যাসিড এই ট্রাইপেপটাইডকে নিম্নলিখিতভাবে প্রকাশ করা হয়।



(N-প্রান্তীয় অ্যামিনো অ্যাসিড) (C-প্রান্তীয় অ্যামিনো অ্যাসিড)

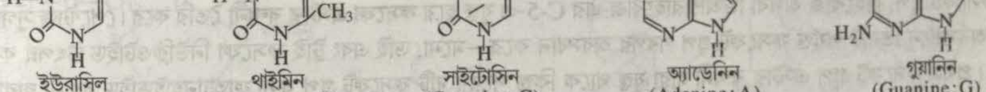
8.29. নিউক্লিক অ্যাসিড [Nucleic acid]

নিউক্লিক অ্যাসিড হল প্রোটিন নয় এমন একটি নাইট্রোজেনঘটিত গুরুত্বপূর্ণ **জীবজ অণু** (Biomolecules)। নিউক্লিক অ্যাসিড, হল বহু সংখ্যক নিউক্লিওটাইড (nucleotide) এককের অতিকায় আণবিক পলিমার এবং এটি জীবদেহের কোশে থাকে। দুই রকম নিউক্লিক অ্যাসিড আছে—**রাইবোনিউক্লিক অ্যাসিড** এবং **ডি-অক্সিরাইবোনিউক্লিক অ্যাসিড**। এদের সংক্ষিপ্তরূপ যথাক্রমে RNA এবং DNA। RNA এবং DNA উভয়-ই জীবজ পলিমার এবং এরা অসংখ্য মনোমার একক 'নিউক্লিটাইড' দ্বারা গঠিত। RNA এবং DNA উভয়ের মনোমার একক **'নিউক্লিওটাইড', একটি পেন্টোজ সুগার, একটি নাইট্রোজেনঘটিত হেটারোসাইক্লিক ক্ষারক এবং একটি ফসফেট একক দ্বারা গঠিত। RNA-তে পেন্টোজ সুগার হিসাবে রাইবোজ এবং DNA-তে পেন্টোজ সুগার হিসাবে 2-ডিঅক্সিরাইবোজ** উপস্থিত থাকে।



রাইবোজ সুগার 2-ডিঅক্সিরাইবোজ

নিম্নলিখিত নাইট্রোজেনঘটিত হেটারোসাইক্লিক ক্ষারকগুলি নিউক্লিওটাইডের অংশ।

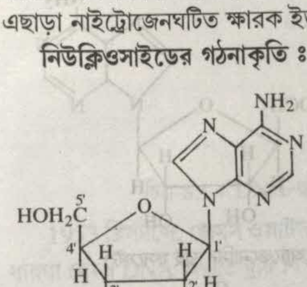


ইউরাসিল (Uracil: U) থাইমিন (Thymine: T) সাইটোসিন (Cytosine: C) অ্যাডেনিন (Adenine: A) গুয়ানিন (Guanine: G)

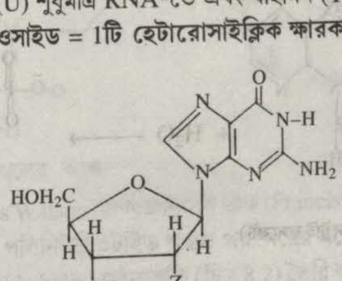
নিউক্লিওসাইড ঃ একটি নাইট্রোজেনঘটিত হেটারোসাইক্লিক ক্ষারক এবং একটি পেন্টোজ সুগার (রাইবোজ অথবা ডিঅক্সিরাইবোজ) যুক্ত হয়ে যে যৌগ তৈরি হয় তাকে নিউক্লিওসাইড (nucleoside) **বলে।** অর্থাৎ নিউক্লিওসাইডের সঙ্গে ফসফেট গ্রুপ যুক্ত হলে এটি নিউক্লিওটাইডে পরিণত হয়। রাইবোজ সুগার যুক্ত নিউক্লিওসাইডকে **রাইবোনিউক্লিওসাইড** এবং ডিঅক্সিরাইবোজ সুগার যুক্ত নিউক্লিওসাইডকে **ডিঅক্সিরাইবোনিউক্লিওসাইড** বলে।

RNA এবং DNA উভয়ক্ষেত্রেই ফসফেট গ্রুপ, অ্যাডেনিন, গুয়ানিন এবং সাইটোসিন উপস্থিত থাকে। RNA এবং DNA-এর মধ্যে প্রধান গঠনগত পার্থক্য হল যে RNA-তে পেন্টোজ সুগার হিসাবে রাইবোজ থাকে এবং DNA-তে ডিঅক্সিরাইবোজ থাকে। এছাড়া নাইট্রোজেনঘটিত ক্ষারক ইউরাসিল (U) শুধুমাত্র RNA-তে এবং থাইমিন (T) শুধুমাত্র DNA-তে উপস্থিত থাকে।

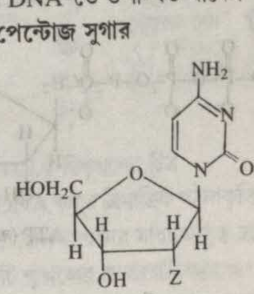
নিউক্লিওসাইডের গঠনাকৃতি ঃ নিউক্লিওসাইড = 1টি হেটারোসাইক্লিক ক্ষারক + 1টি পেন্টোজ সুগার



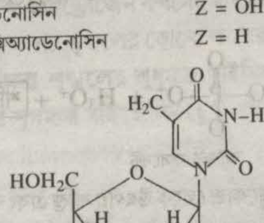
যখন Z = OH ঃ অ্যাডেনোসিন
Z = H ঃ ডিঅক্সিঅ্যাডেনোসিন



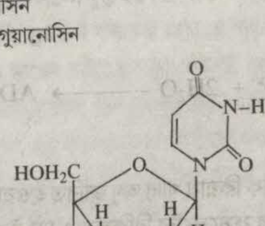
Z = OH ঃ গুয়ানোসিন
Z = H ঃ ডিঅক্সিগুয়ানোসিন



Z = OH ঃ সাইটোডিন
Z = H ঃ ডিঅক্সিসাইটোডিন

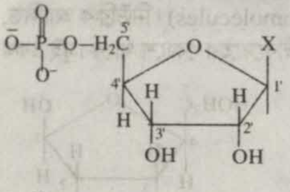


ডিঅক্সিথাইমিডিন



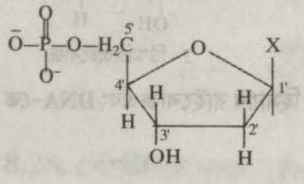
ইউরিডিন

নিউক্লিওসাইডের গঠনাকৃতি ঃ



যখন

X =	অ্যাডেনিন	ঃ অ্যাডেনোসিন-5′ মনোফসফেট	(AMP)
=	গুয়ানিন	ঃ গুয়ানোসিন-5′ মনোফসফেট	(GMP)
=	সাইটোসিন	ঃ সাইটিডিন-5′ মনোফসফেট	(CMP)
=	ইউরাসিল	ঃ ইউরিডিন-5′ মনোফসফেট	(UMP)

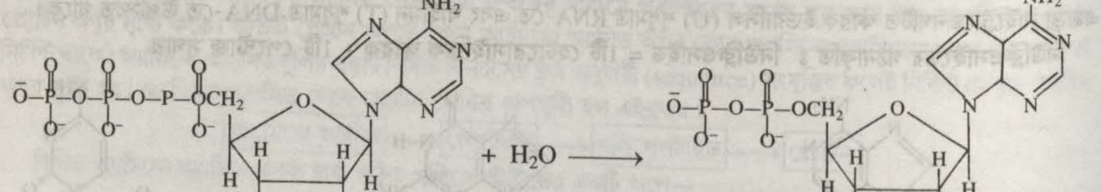


X =	অ্যাডেনিন	ঃ ডিঅক্সিঅ্যাডেনোসিন-5′ মনোফসফেট	(dAMP)
=	গুয়ানিন	ঃ ডিঅক্সিগুয়ানোসিন-5′ মনোফসফেট	(dGMP)
=	সাইটোসিন	ঃ ডিঅক্সিসাইটিডিন-5′ মনোফসফেট	(dCMP)
=	থাইমিন	ঃ ডিঅক্সিথাইমিডিন-5′ মনোফসফেট	(dTMP)

8.30. ADP এবং ATP ঃ গঠন এবং ভূমিকা [Structure and role in bioenergetics]

ফসফেট গ্রুপ, রাইবোজ অথবা ডিঅক্সিরাইবোজ-এর C-5-এ যুক্ত হয়ে **ফসফো এস্টার বন্ধনী** তৈরি করে। পেন্টোজ সুগারের C-5 অবস্থানে তিনটি পর্যন্ত ফসফেট গ্রুপ পরপর অবস্থান করে—মনো, ডাই এবং ট্রাই ফসফো নিউক্লিওটাইড উৎপন্ন করতে পারে। প্রথম ফসফেট গ্রুপ এস্টার বন্ধনী দ্বারা যুক্ত থাকে কিন্তু পরের দুটি ফসফেট গ্রুপ ফসফোঅ্যানহাইড্রাইড বন্ধনী দ্বারা যুক্ত থাকে।

একটি খুব গুরুত্বপূর্ণ নিউক্লিওটাইড হল **অ্যাডেনোসিন ট্রাইফসফেট** (ATP)। এই নিউক্লিওটাইডটি জীবকোশের প্রয়োজনীয় শক্তির প্রধান উৎস। ATP-তে ফসফরিক অ্যাসিড **অ্যানহাইড্রাইড বন্ধনীতে** যুক্ত থাকে। অ্যানহাইড্রাইডের আর্দ্র বিশ্লেষণ খুবই স্বতঃস্ফূর্ত (favourable) বিক্রিয়া। তাই ATP আর্দ্রবিশ্লেষিত হয়ে অ্যাডেনোসিন ডাইফসফেটে (ADP) পরিণত হয় এবং প্রায় **7·3 কিলোক্যালোরি/ মোল** (30·5 kJ/mol) **শক্তি নির্গত হয়। প্রাণীদেহের প্রয়োজনীয় জৈব রাসায়নিক শক্তি ATP থেকে নির্গত শক্তি থেকে সংগৃহীত হয়।**



ATP (অ্যাডেনোসিন ট্রাই ফসফেট) ADP (অ্যাডেনোসিন ডাই ফসফেট)

$$+ \ HO{-}\overset{O}{\overset{\|}{P}}{-}O^- \ + \ H_3O^+ \ + \text{ শক্তি}$$
$$\qquad\quad |\ O^-$$

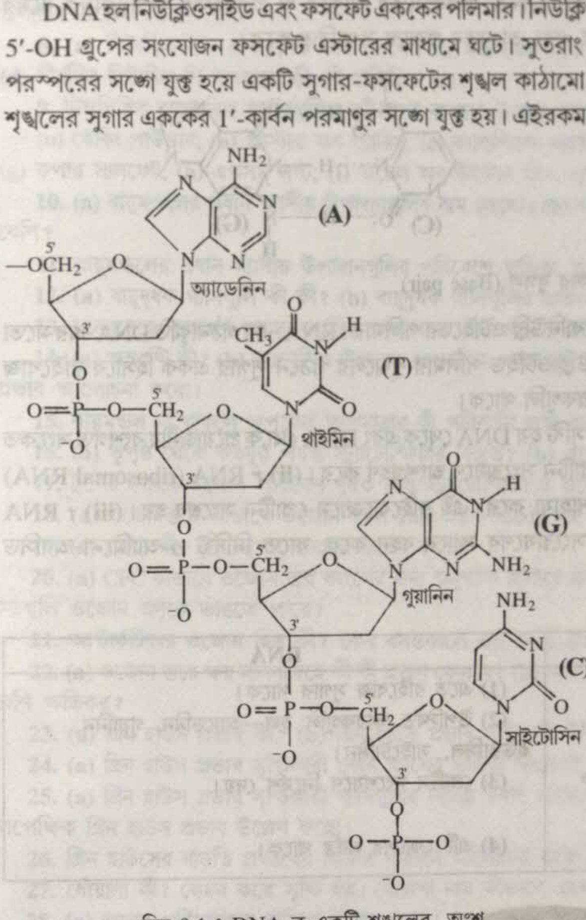
$$ATP + 2H_2O \longrightarrow ADP + HO{-}\overset{O}{\overset{\|}{\underset{O^-}{\underset{|}{P}}}}{-}O^- + H_3O^+ + \boxed{\text{শক্তি}}$$

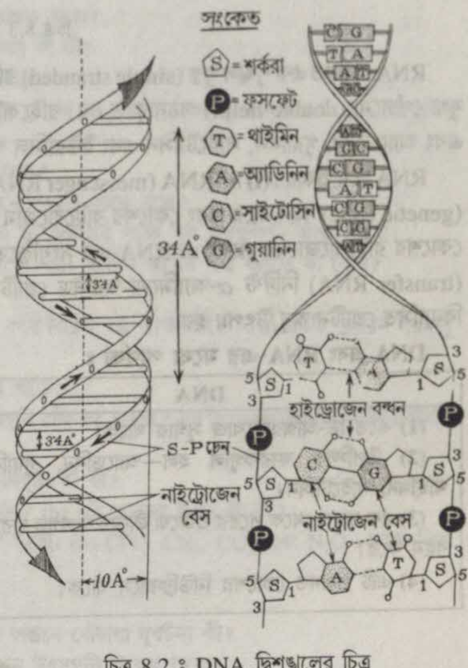
অজৈব ফসফেট

(ATP → ADP) বিপাক ক্রিয়ায় খাদ্য অণু জারিত হওয়ার সময় গ্লুকোজ থেকে উৎপন্ন শক্তি এবং অন্যান্য কোশীয় শক্তি শোষণ করে ADP-এর সাথে অজৈব ফসফেটের বিক্রিয়ায় ATP উৎপন্ন হয়। প্রকৃতপক্ষে, ATP জীবদেহের মধ্যে শক্তি উৎপাদক বিক্রিয়া এবং শক্তি শোষক বিক্রিয়ার মধ্যে সংযোগকারী মধ্যস্থতার ভূমিকা পালন করে। ATP, ADP-তে পরিণত হলে যে শক্তি উৎপন্ন করে, সেই শক্তি জীবদেহে বিভিন্ন শক্তি শোষক বিক্রিয়ায় প্রয়োজনীয় শক্তির জোগান দেয়।

8.31. DNA এবং RNA-এর গঠন [Structures of DNA and RNA]

DNA হল নিউক্লিওসাইড এবং ফসফেট এককের পলিমার। নিউক্লিওসাইডের 3′-OH গ্রুপের সঙ্গে আর একটি নিউক্লিওসাইডের 5′-OH গ্রুপের সংযোজন ফসফেট এস্টারের মাধ্যমে ঘটে। সুতরাং 2′-ডিঅক্সিরাইবোজ সুগার একক এবং ফসফেট এককগুলি পরস্পরের সঙ্গে যুক্ত হয়ে একটি সুগার-ফসফেটের শৃঙ্খল কাঠামো তৈরি করে এবং বিভিন্ন নাইট্রোজেন ঘটিত ক্ষারকগুলি এই শৃঙ্খলের সুগার এককের 1′-কার্বন পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত হয়। এইরকম শৃঙ্খলকে **পলিনিউক্লিওটাইড শৃঙ্খল** বলা হয় (চিত্র 8.1)।



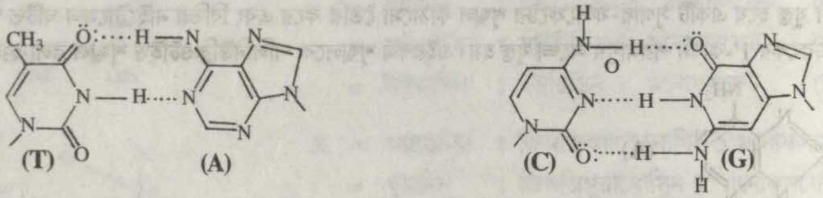


চিত্র 8.1 ঃ DNA-র একটি শৃঙ্খলের অংশ

চিত্র 8.2 ঃ DNA দ্বিশৃঙ্খলের চিত্র

1953 খ্রিস্টাব্দে, **জেমস ওয়াটসন** (James Watson) এবং **ফ্রানসিস ক্রিক** (Francis Crick) DNA অণুর ত্রিমাত্রিক গঠনাকৃতির ধারণা দেন। DNA অণুতে দুটি বিপরীতমুখী পলিনিউক্লিওটাইড শৃঙ্খল পরস্পরের সঙ্গে হাইড্রোজেন-বন্ধনের মাধ্যমে যুক্ত হয়ে একটি ডানদিক ঘোরানো যুগ্ম-পেঁচানো (double helix) গঠনাকৃতি (চিত্র 8.2) তৈরি করে। একটি শৃঙ্খলের প্রত্যেকটি ক্ষার অপর শৃঙ্খলের নির্দিষ্ট ক্ষারের সঙ্গে হাইড্রোজেন বন্ধনের মাধ্যমে পরস্পরের সঙ্গে যুক্ত হয়। DNA-অণুর যুগ্ম-পেঁচানো গঠনাকৃতিতে একটি শৃঙ্খলের কোনো ক্ষার অপর শৃঙ্খলের কোনো ক্ষারের সঙ্গে হাইড্রোজেন বন্ধনের মাধ্যমে যুক্ত হবে তা নির্দিষ্ট থাকে। **একটি শৃঙ্খলের অ্যাডেনিন (A) অন্য শৃঙ্খলের শুধুমাত্র থাইমিনের (T) সঙ্গে হাইড্রোজেন বন্ধনে যুক্ত হয়** এবং **একটি শৃঙ্খলের গুয়ানিন (G) অন্য শৃঙ্খলের শুধুমাত্র সাইটোসিন (C)-এর সঙ্গে হাইড্রোজেন বন্ধনে যুক্ত হয়।** সেজন্য অ্যাডেনিন ও থাইমিনকে পরস্পরের পরিপূরক (complementary) এবং গুয়ানিন ও সাইটোসিন-কে পরস্পরের পরিপূরক বলা হয়। প্রকৃতপক্ষে DNA-এর দুটি শৃঙ্খল পরস্পরের পরিপূরক। সুতরাং একটি যুগ্ম পেঁচানো DNA অণুর একটি শৃঙ্খলের সাথে যুক্ত ক্ষারকগুলির ক্রম-বিন্যাস (sequence) জানা গেলে অপর শৃঙ্খলটির সাথে যুক্ত ক্ষারকগুলির বিন্যাস সহজেই জানা যায়, কারণ A ক্ষার সর্বদাই T-এর সঙ্গে এবং G ক্ষার সর্বদা C-এর সঙ্গে যুক্ত হবে। এইজন্য কোনো DNA-দ্বিশৃঙ্খল গঠনে অ্যাডেনিন এবং গুয়ানিনের যোগফল সর্বদা থাইমিন এবং সাইটোসিনের যোগফলের সমান হবে। অর্থাৎ DNA-দ্বিশৃঙ্খল গঠনে সর্বদা $A + G = T + C$ হবে। হাইড্রোজেন

বন্ধনে যুক্ত দুটি শৃঙ্খলের ক্ষারক দুটিকে DNA-এর **ক্ষার যুগল** (base pair) বলা হয় (চিত্র 8.3)। ক্ষার যুগলের নির্দিষ্ট বিন্যাসই, DNA-অণুর বংশানুক্রমিক ধর্ম বজায় রাখার অন্যতম কারণ। DNA জীবজগতের আকৃতি ও প্রকৃতিগত বংশানুক্রমিক ধর্মের ধারাবাহিকতা বজায় রাখার প্রয়োজনীয় সংকেত বহন করে এবং তা নতুন প্রজন্মে সঞ্চারিত করে।



(T) (A) (C) (G)

চিত্র 8.3 ঃ ক্ষার যুগল (Base pair)

RNA প্রধানত এক শৃঙ্খল যুক্ত (single stranded) রাইবোনিউক্লিওটাইডের পলিমার। RNA-এর গঠনাকৃতি DNA-এর মতো যুগ্ম পেঁচানো (double helix) গঠনাকৃতি নয়। রাইবোনিউক্লিওটাইড পলিমার শৃঙ্খলের গঠনে সুগার একক হিসাবে রাইবোজ এবং অ্যাডেনিন, গুয়ানিন, সাইটোসিন এবং ইউরাসিল ক্ষারকগুলি থাকে।

RNA তিন প্রকার। **(i)** *m*-RNA (messenger RNA) সৃষ্টি হয় DNA থেকে এবং DNA থেকে প্রয়োজনীয় বংশগত সংকেত (genetic code) বহন করে এবং কোশের রাইবোজোম প্রোটিন সংশ্লেষণে অংশগ্রহণ করে। **(ii)** *r* RNA (ribosomal RNA) কোশের রাইবোজোমের সঙ্গে *m*-RNA-এর সংযুক্তিতে সাহায্য করে। এই রাইবোজোমে প্রোটিন সংশ্লেষ হয়। **(iii)** *t* RNA (transfer RNA) নির্দিষ্ট α-অ্যামিনো-অ্যাসিড প্রোটিন সংশ্লেষণের স্থানে বহন করে, যাতে নির্দিষ্ট α-অ্যামিনো-অ্যাসিড বিন্যাসিত প্রোটিন অণু উৎপন্ন হয়।

DNA এবং RNA-এর মধ্যে পার্থক্য ঃ

DNA	RNA
(1) এতে ডি-অক্সিরাইবোজ সুগার থাকে।	(1) এতে রাইবোজ সুগার থাকে।
(2) উপস্থিত ক্ষারকগুলি হল—অ্যাডেনিন, গুয়ানিন, থাইমিন, সাইটোসিন।	(2) উপস্থিত ক্ষারকগুলি হল—অ্যাডেনিন, গুয়ানিন, ইউরাসিল, সাইটোসিন।
(3) এক প্রজন্ম থেকে পরের প্রজন্মে জীবের বংশগত ধারাকে বহন করে।	(3) প্রোটিন সংশেষণে নির্দেশ দেয়।
(4) এটি প্রধানত কোশের নিউক্লিয়াসে থাকে।	(4) এটি কোশের সর্বত্র থাকে।

অনুশীলনী

[A] অতিসংক্ষিপ্ত উত্তরধর্মী প্রশ্ন ঃ

1. শর্করা চিনির আর্দ্র বিশ্লেষণে কী হয়? **2.** DNA এবং RNA-র মধ্যে দুটি পার্থক্য দেখাও। **3.** পেপটাইড বন্ধন কাকে বলে? **4.** দুটি প্রয়োজনীয় (essential) অ্যামিনো অ্যাসিডের নাম লেখো? **5.** DNA-র মধ্যে কোন্ চিনিটি বর্তমান থাকে? **6.** অ্যামিনো অ্যাসিড কাদের বলা হয়—উদাহরণ দাও। **7.** কার্বোহাইড্রেট কাকে বলে? **8.** ডাই স্যাকারাইড বলতে কী বোঝো?

[B] সংক্ষিপ্ত উত্তরধর্মী প্রশ্ন ঃ

1. (a) দুটি প্রচলিত অ্যান্টিসেপটিকের নাম লেখো, **(b)** অ্যান্টিসেপটিক কী জন্য ব্যবহার হয়?

2. অ্যান্টিসেপটিক হিসাবে ব্যবহার হয় এমন কয়েকটি রাসায়নিক পদার্থের নাম লেখো।

3. (a) ফেনলজাত একটি রাসায়নিক পদার্থের নাম ও গঠন সংকেত লেখো যা অ্যান্টিসেপটিক হিসাবে ব্যবহার হয়। **(b)** একটি অ্যান্টিসেপটিক রাসায়নিকের নাম লেখো যা দেহের অভ্যন্তরে ব্যবহার করা যায়।

4. (a) অ্যানালজেসিক কী? **(b)** দুটি অ্যানালজেসিক ওষুধের নাম লেখো যাদের অ্যান্টিপাইরেটিক ধর্মও আছে। **(c)** দুটি অ্যানালজেসিকের রাসায়নিক নাম ও গঠন সংকেত লেখো।

5. অ্যাসপিরিন এবং প্যারাসিটামলের পার্শ্বপ্রতিক্রিয়াগুলি উল্লেখ করো।

6. (a) অ্যান্টাসিড কয়প্রকার উদাহরণ সহ লেখো। (b) অ্যান্টাসিডের ব্যবহৃত প্রধান তিনটি রাসায়নিকের নাম ও সংকেত লেখো।

7. (a) অ্যান্টাসিডে ব্যবহৃত রাসায়নিকগুলির শরীরে পার্শ্বপ্রতিক্রিয়া উল্লেখ করো। (b) প্রচলিত দুটি অ্যান্টাসিডের নাম ও তাদের প্রধান উপাদান উল্লেখ করো।

8. (a) ভিটামিন-সি'র রাসায়নিক নাম লেখো। (b) ভিটামিন-সি'র কার্যকারিতা উল্লেখ করো। (c) এর অভাবে কী রোগ হয়? (d) দীর্ঘদিন ভিটামিন-সি ব্যবহারে কী কী প্রতিক্রিয়া হয়?

9. নিম্নলিখিত রাসায়নিক পদার্থগুলির দুটি করে ব্যবহার উল্লেখ করো :

(a) বেকিং পাউডার, (b) প্লাস্টার অব প্যারিস, (c) ক্যালশিয়াম ল্যাকটেট, (d) সাধারণ অ্যালাম, (e) বোরিক অ্যাসিড, (f) বোরাক্স, (g) কপার সালফেট, (h) এপসম্ সল্ট, (i) অয়েল অব উইন্টার গ্রিন, (j) কার্বলিক অ্যাসিড।

10. (a) বায়ুমণ্ডলের প্রধান গ্যাসীয় উপাদানগুলির নাম লেখো। (b) গ্যাসীয় উপাদানগুলির মধ্যে কোনটির শতকরা পরিমাণ সবচেয়ে বেশি?

11. বায়ুমণ্ডলের প্রধান গ্যাসীয় উপাদানগুলির পরিবেশে ভূমিকা আলোচনা করো।

12. (a) বায়ুদূষক গ্যাসগুলি কী কী? (b) বায়ুদূষক গ্যাসগুলির প্রধান উৎস কী কী?

13. মানবদেহে গুরুত্বপূর্ণ বায়ুদূষকগুলির ক্ষতিকারক প্রভাব আলোচনা করো।

14. (a) অম্লবৃষ্টি কী? (b) অম্লবৃষ্টির উপাদান রাসায়নিক পদার্থগুলির নাম লেখো। (c) কীভাবে অম্লবৃষ্টি সৃষ্টি হয়? (d) অম্লবৃষ্টির প্রভাব আলোচনা করো।

15. বায়ুমণ্ডল না থাকলে ভূপৃষ্ঠের তাপমাত্রার কী পরিবর্তন লক্ষ করা যেত?

16. (a) ভূপৃষ্ঠ থেকে কতদূর পর্যন্ত স্ট্র্যাটোস্ফিয়ার বিস্তৃত? (b) ওজোনোস্ফিয়ার কাকে বলে?

17. ট্রপোস্ফিয়ারে ওজোন পরিবেশ দূষক কিন্তু স্ট্র্যাটোস্ফিয়ারে ওজোন জীবজগতের পক্ষে খুব গুরুত্বপূর্ণ—ব্যাখ্যা করো।

18. (a) ওজোনস্তরে কীভাবে ওজোন গ্যাস তৈরি হয়—বিক্রিয়া সহ লেখো। (b) ওজোন স্তরের ক্ষয় বলতে কী বোঝ?

19. (a) CFC কী? (b) এদের ব্যবহার উল্লেখ করো।

20. (a) CFC কীভাবে ওজোন স্তর ধ্বংসের জন্য অনুঘটক হিসাবে কাজ করে বিক্রিয়া সহ ব্যাখ্যা করো। (b) একটি ক্লোরিন পরমাণু কতগুলি ওজোন অণুকে ভাঙতে পারে?

21. আন্টার্কটিকার ওজোন ছিদ্র কী? কেন বসন্তকালে এর বেশি প্রভাব পড়ে?

22. (a) ওজোন স্তরে ক্ষয় মানবদেহে কী কী প্রভাব ফেলবে? (b) অতি-বেগুনি রশ্মি কয় প্রকার? এর মধ্যে মানবদেহের পক্ষে কোনটি বেশি ক্ষতিকর?

23. (a) গ্রিন হাউস প্রভাব কী? (b) গ্রিন হাউস প্রভাব সৃষ্টিকারী উপাদানগুলি কী কী?

24. (a) গ্রিন হাউস প্রভাব সৃষ্টিকারী কোন গ্যাসের ভূমিকা সবচেয়ে বেশি? (b) এই গ্যাসের উৎস কী কী?

25. (a) গ্রিন হাউস প্রভাব সৃষ্টিকারী গ্যাসগুলির বিভিন্ন উৎস আলোচনা করো। (b) CFC, CH_4, CO_2 এবং N_2O—গ্যাসগুলির আপেক্ষিক গ্রিন হাউস প্রভাব উল্লেখ করো।

26. গ্রিন হাউসের বাড়তি প্রভাবের বিভিন্ন পরিণাম আলোচনা করো।

27. ধোঁয়াশা কী? কেমন করে সৃষ্টি হয়। ধোঁয়াশা নাম কীভাবে এলো? লন্ডনে ধোঁয়াশা দুর্ঘটনা কী?

28. (a) জলের পরিবেশগত ভূমিকা উল্লেখ করো। (b) জল দূষণের প্রধান উৎসগুলি উল্লেখ করো।

29. (a) কয়েকটি ভিন্ন প্রকৃতির জলদূষকের উল্লেখ করো। (b) B.O.D. এবং C.O.D. বলতে কী বোঝ?

30. (a) জলে জৈবদূষকের উপর কীভাবে জলে দ্রবীভূত অক্সিজেনের পরিমাণ (dissolved oxygen) নির্ভর করে? (b) জলে দ্রবীভূত অক্সিজেন হ্রাস পেলে পরিবেশে কী প্রভাব পড়বে?

[C] রচনাধর্মী প্রশ্ন :

1. (a) কৃষিকার্যে ব্যবহৃত ক্লোরিন ঘটিত দুটি কীটনাশকের নাম লেখো। (b) D.D.T.-এর রাসায়নিক নাম কী? (c) D.D.T.-র মানবদেহে ক্ষতিকারক প্রভাবগুলি উল্লেখ করো।

2. (a) ফসফরাস ঘটিত দুটি কীটনাশকের নাম লেখো। (b) জলদূষক দুটি জীবাণুর নাম লেখো। (c) দুটি জলদূষক ধাতুর নাম লেখো এবং মানবদেহে এদের প্রভাব উল্লেখ করো।

3. (a) কার্বোহাইড্রেট কয়প্রকার ও কী কী? (b) দুটি মনোস্যাকারাইড এবং দুটি ডাইস্যাকারাইডের নাম লেখো। (c) অ্যালডোপেন্টোজ এবং অ্যালডোহেক্সোজ বলতে কী বোঝ? একটি করে উদাহরণ দাও।

4. (a) গ্লুকোজকে (i) ব্রোমিন জল, (ii) নাইট্রিক অ্যাসিড দ্বারা জারিত করলে কী কী যৌগ পাওয়া যায়? (b) গ্লুকোজের বিজারণ ধর্ম আলোচনা করো। (c) 'বিজারক সুগার' (reducing sugar) বলতে কী বোঝ?

5. (a) গ্লুকোজের সঙ্গে অতিরিক্ত ফিনাইল হাইড্রাজিনের বিক্রিয়া আলোচনা করো। (b) গ্লুকোজকে HIO_4 দ্বারা জারিত করলে কী হয়? (c) অ্যালডোপেন্টোজ থেকে অ্যালডোহেক্সোজ কীভাবে রূপান্তরিত করবে?

6. (a) অ্যামিনো অ্যাসিড কাকে বলে? **(b)** প্রকৃতিজাত অ্যামিনো-অ্যাসিড কী প্রকার হয়? **(c)** প্রকৃতিজাত অ্যামিনো-অ্যাসিডের সাধারণ গঠন সংকেত উল্লেখ করো।

7. (a) একটি α-অ্যামিনো-অ্যাসিডের নাম এবং রাসায়নিক গঠন লেখো যা আলোক সক্রিয় নয়। **(b)** অ্যালানিন, অ্যাসপার্টিক অ্যাসিড এবং সিসটাইনের গঠন সংকেত লেখো। **(c)** 'জুইটার আয়ন' গঠন বলতে কী বোঝ?

8. (a) অপরিহার্য অ্যামিনো-অ্যাসিড বলতে কী বোঝানো হয়? দুটি অপরিহার্য অ্যামিনো অ্যাসিডের নাম লেখো। **(b)** জৈব যৌগ হওয়া সত্ত্বেও অ্যামিনো-অ্যাসিড-এর গলনাঙ্ক খুব বেশি হয় কেন? **(c)** দুটি অ্যামিনো-অ্যাসিডের 'জুইটার আয়ন' গঠন লেখো।

9. (a) পেপটাইড বন্ধন কাকে বলে? **(b)** 'N-' প্রান্তীয় এবং C–প্রান্তীয় অ্যামিনো অ্যাসিড বলতে কী বোঝায়? **(c)** গ্লাইসিন এবং অ্যালানিন থেকে উৎপন্ন গ্লাই-অ্যালা-ডাইপেপটাইডের রাসায়নিক গঠন লেখো।

10. (a) নিউক্লিক অ্যাসিড কয়প্রকার এবং কী কী? **(b)** নিউক্লিওসাইড এবং নিউক্লিওটাইড বলতে কী বোঝ? **(c)** DNA এবং RNA-তে উপস্থিত সুগার যৌগ দুটির নাম এবং গঠন লেখো।

11. (a) ADP এবং ATP-র পুরো নাম এবং রাসায়নিক গঠন লেখো। **(b)** 'ATP জীবকোশের শক্তির উৎস'—ব্যাখ্যা করো। **(c)** এক মোল ATP-র আর্দ্র বিশ্লেষণে নির্গত শক্তির পরিমাণ কত?

12. (a) DNA এবং RNA-র গঠনগত পার্থক্য কী? **(b)** RNA কয়প্রকার ও কী কী? **(c)** DNA-র যুগ্ম পেঁচানো (double helix) গঠনাকৃতির বৈশিষ্ট্যগুলি উল্লেখ করো।

[D] নৈর্ব্যক্তিক প্রশ্ন ঃ

সঠিক উত্তরটি নির্বাচন করো ঃ

1. ডাই স্যাকারাইডের উদাহরণ হল— (a) গ্লুকোজ, (b) রাইবোজ, (c) সেলুলোজ (d) ল্যাকটোজ। [*Ans.* (d)]

2. প্রোটিনের সম্পূর্ণ আর্দ্র বিশ্লেষণে পাওয়া যায়— (a) নিউক্লিক অ্যাসিড, (b) পেপটাইডস, (c) অ্যামিনো অ্যাসিড, (d) লিপিড। [*Ans.* (c)]

3. চিনির আর্দ্রবিশ্লেষণকে বলা হয়—(a) সাবানীভবন, (b) হাইড্রেশন, (c) ইনভারর্সন, (d) এস্টারীভবন। [*Ans.* (c)]

4. পেপটাইড বন্ধন হল— (a) —CO—NH—, (b) $—CO—NH_2—$, (c) = CH—N=O, (d) —CO—NO— [*Ans.* (a)]

অ্যালাইড পাবলিশিং সিন্ডিকেট
৬১ মহাত্মা গান্ধি রোড, কলকাতা - ৭০০ ০০৯